

逢甲大學學生報告 ePaper

圖書館照明節能改善潛力之研究

Assessment on Lighting Energy Conservation Potential of Library

作者：吳政軒

系級：建築學系 碩士在職專班

學號：M0417212

開課老師：趙又嬋

課程名稱：建築物理環境與控制

開課系所：建築學系 碩士班

開課學年：104 學年度 第2 學期



中文摘要

近年來對於環境議題的重視，使得節能減碳成為重要的任務，大學校園圖書館為了提供滿足閱讀需求之照明環境，必須長時間使用大量照明設備，為校園高耗電建築類型。本研究以逢甲大學圖書館為例，在滿足基本照明品質的前提下，透過替換高效率燈具與照明減量的方式，輔以照明模擬軟體 DIALux 驗證，評估整體照明節能潛力與節能效益。研究結果顯示，原平均照明功率密度為 19.55 W/m^2 ，更換高效率燈具可降為 14.41 W/m^2 ，再行燈具減量後降為 7.07 W/m^2 ，若再於窗邊閱讀區設置智慧化調光控制系統，則每年約可節省人工照明使用時數 2256 小時，可作為相關照明改善之參考。



關鍵字：照明節能、照明功率密度(LPD)、DIALux 照明模擬

Abstract

In recent years, the importance of environmental issues, energy-saving carbon reduction has become an important task. The university campus library in order to meet the reading needs of the lighting environment, must be a long time to use a large number of lighting equipment for high-power campus building type. This study takes the Feng Chia University library as an example to evaluate the overall lighting energy saving potential and energy efficiency by replacing the high-efficiency light source and lighting reduction method and lighting simulation software DIALux verification under the premise of satisfying the basic lighting quality. The results show that the original average power density of 19.55 W/m^2 , the replacement of high-efficiency lamps can be reduced to 14.41 W/m^2 , re-lamp reduced to 7.07 W/m^2 . If the window reading area to set the smart lighting control system, the annual savings of about 2256 hours of artificial lighting hours can be used as a reference of lighting improvement.



Keyword : Lighting energy saving , Light power density(LPD), DIALux Lighting simulation

目次

第一章 逢甲大學圖書館簡介.....	1
1.1 計畫緣起與執行目標 1	
1.2 逢甲大學圖書館空間規劃及使用分區 1	
1.3 逢甲大學圖書館照明系統介紹 5	
1.3.1 天花板照明系統	5
1.3.2 桌面照明系統	7
1.3.3 照明控制系統	7
1.3.4 晝光利用現況	8
第二章 圖書館照明現況.....	9
2.1 照明設備使用現況與照明用電密度(LPD)	9
2.1.1 一樓照明設備使用現況與 LPD	9
2.1.2 二樓照明設備使用現況與 LPD	11
2.1.3 三樓照明設備使用現況與 LPD	13
2.1.4 四樓照明設備使用現況與 LPD	15
2.1.5 地下一樓照明設備使用現況與 LPD	17
2.1.6 小結	19
2.2 照度現況測量.....	21
2.2.1 一樓照度現況	21
2.2.2 二樓照度現況	23
2.2.3 三樓照度現況	25
2.2.4 四樓照度現況	27
2.2.5 地下一樓照度現況	29
2.2.6 小結	31
第三章 圖書館現有照明缺失檢討與改善策略.....	32
3.1 圖書館現有照明缺失檢討.....	32
3.1.1 圖書館一樓現有照明缺失之檢討	32
3.1.2 圖書館二樓現有照明缺失之檢討	33
3.1.3 圖書館三樓現有照明缺失之檢討	33
3.1.4 圖書館四樓現有照明缺失之檢討	34
3.1.5 圖書館地下一樓現有照明缺失之檢討	35
3.1.6 圖書館現有照明缺失檢討小結	35
3.2 圖書館照明節能改善策略.....	37
3.2.1 高效率照明燈具及照明減量設計	37
3.2.2 晝光感知調光節能系統	38
3.2.3 智慧化分時分區照明控制系統	40
3.3 圖書館現況照明缺失改善建議.....	42

3.3.1 圖書館一樓照明缺失改善建議	44
3.3.2 圖書館二樓照明缺失改善建議	46
3.3.3 圖書館三樓照明缺失改善建議	48
3.3.4 圖書館四樓照明缺失改善建議	50
3.3.5 圖書館地下一樓照明缺失改善建議	52
3.4 小結.....	54
第四章 圖書館照明改善預期節能效益推估.....	57
4.1 不同改善方式其節能效益之推估.....	57
4.2 用電度數與節約金額之推估.....	57
4.3 回收年限之推估.....	59
第五章 結論與建議.....	61
參考文獻.....	1
附錄.....	錯誤! 尚未定義書籤。



表目錄

表 1.1	天花板照明系統主要類型.....	5
表 1.2	桌面照明系統主要類型.....	7
表 1.3	照明控制開關類型.....	7
表 1.4	晝光利用現況.....	8
表 2.1	一樓照明設備 LPD.....	9
表 2.2	一樓現況照片.....	11
表 2.3	二樓照明設備 LPD.....	11
表 2.4	二樓現況照片.....	13
表 2.5	三樓照明設備 LPD.....	13
表 2.6	三樓現況照片.....	15
表 2.7	四樓照明設備 LPD.....	16
表 2.8	四樓現況照片.....	17
表 2.9	地下一樓照明設備 LPD.....	17
表 2.10	地下一樓現況照片.....	19
表 2.11	圖書館各樓層 LPD.....	19
表 2.12	LPD 前 10 高之樓層分區.....	20
表 2.13	圖書館各空間照度標準.....	21
表 2.14	一樓照度現況.....	22
表 2.15	二樓照度現況.....	23
表 2.16	三樓照度現況.....	25
表 2.17	四樓照度現況.....	27
表 2.18	地下一樓照度現況.....	29
表 2.19	圖書館各樓層平均照度.....	31
表 3.1	圖書館現有照明缺失.....	36
表 3.2	使用高效率照明燈具及燈具減量方案比較.....	37
表 3.3	圖書館一樓照明改善前後 LPD 之比較.....	44
表 3.4	圖書館一樓照明改善前後之比較.....	45
表 3.5	圖書館二樓照明改善前後 LPD 之比較.....	46
表 3.6	圖書館二樓照明改善前後之比較.....	47
表 3.7	圖書館三樓照明改善前後 LPD 之比較.....	48
表 3.8	圖書館三樓照明改善前後之比較.....	48
表 3.9	圖書館四樓照明改善前後 LPD 之比較.....	50
表 3.10	圖書館四樓照明改善前後之比較.....	51
表 3.11	圖書館地下一樓照明改善前後 LPD 之比較.....	52

表 3.12 圖書館地下一樓照明改善前後之比較.....53

表 3.13 圖書館照明改善前後 LPD 之比較.....54

表 3.14 晝光感知節能迴路位置圖.....55

表 4.1 圖書館照明缺失改善方式節能效益之比較.....57

表 4.2 圖書館照明改善效益.....58

表 4.3 圖書館各樓層閱讀區採用智慧化自動調光控制系統之節能效益.....58

表 4.4 圖書館照明改善工程材料單價與施工費用.....59

表 4.5 圖書館照明改善預期省電效益之比較.....59



圖目錄

圖 1.1 圖書館外觀.....	1
圖 1.2 圖書館結構平面.....	2
圖 1.3 一樓平面配置圖.....	2
圖 1.4 二樓平面配置圖.....	3
圖 1.5 三樓平面配置圖.....	3
圖 1.6 四樓平面配置圖.....	4
圖 1.7 地下一樓平面配置圖.....	4
圖 2.1 一樓照明設備 LPD.....	10
圖 2.2 二樓照明設備 LPD.....	12
圖 2.3 三樓照明設備 LPD.....	14
圖 2.4 四樓照明設備 LPD.....	16
圖 2.5 地下一樓照明設備 LPD.....	18
圖 2.6 各樓層 LPD.....	20
圖 2.7 一樓照度現況.....	23
圖 2.8 二樓照度現況.....	25
圖 2.9 三樓照度現況.....	27
圖 2.10 四樓照度現況.....	28
圖 2.11 地下一樓照度現況.....	30
圖 2.12 各樓層平均照度.....	31
圖 3.1 圖書館一樓 LPD 與照度.....	32
圖 3.2 圖書館二樓 LPD 與照度.....	33
圖 3.3 圖書館三樓 LPD 與照度.....	34
圖 3.4 圖書館四樓 LPD 與照度.....	34
圖 3.5 圖書館地下一樓 LPD 與照度.....	35
圖 3.6 導光板.....	38
圖 3.7 導光系統天花板.....	38
圖 3.8 導光管.....	39
圖 3.9 導光光纖.....	39
圖 3.10 導光玻璃.....	39
圖 3.11 導光百葉窗.....	39
圖 3.12 晝光感知器燈具控制器.....	40
圖 3.13 圖書館一樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖.....	45
圖 3.14 圖書館二樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖.....	47
圖 3.15 圖書館三樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖.....	49
圖 3.16 圖書館四樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖.....	51
圖 3.17 圖書館地下一樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖.....	53

圖 3.18 圖書館照明改善前後 LPD 之比較.....54
圖 4.1 圖書館照明缺失改善方式節能效益之比較.....57
圖 4.2 圖書館照明改善用電量與預期省電效益之比較.....60



第一章 逢甲大學圖書館簡介

1.1 計畫緣起與執行目標

世界各國政府於 2015 年巴黎召開的『聯合國氣候峰會』中決議抑制全球暖化為終極目標，推動減少溫室氣體排放運動，以保護地球環境的永續發展，而我國也應體認在氣候變遷的全球化危機中，「節約能源」已經是人人都無法避免的責任。逢甲大學圖書館為一逢甲大學校園中使用相當頻繁之公共場所，一年開放 336 天，年度總電費高達 500 萬元，若能進行照明系統之評估及改善，則可以減少能源費用之支出，得到既節能又省錢之利益。

本計畫配合經濟部能源局落實節能減碳政策，推動先進照明節能方案，整合智慧控制與高效率燈具，建立智慧照明研究應用實例，依照「大學校院圖書館智慧照明研究示範計畫作業要點」，進行相關照明節能改善措施規劃，目標以加入智慧照明功能，達到改善後該區域之照明用電密度 LPD 為 $10(W/m^2)$ 以下。

本報告調查實際照明現況資料，分析逢甲大學圖書館照明耗能及特性，以常見的節約能源技術與措施，並模擬圖書館照明用電可能的疑問，提出照明及監控系統的智慧照明改善策略，提供圖書館做為推動節約能源之參考。



圖 1.1 圖書館外觀

1.2 逢甲大學圖書館空間規劃及使用分區

圖書館正門面向西方，可依結構分區為前棟與後棟，又以東西向軸線分區南北兩側為對稱設計，前棟由兩垂直天井分成外圍區域和中間書庫夾層，後棟與前棟之間也有兩個天井，以及後棟中間天井(位於建築東面，包含地下一樓到二樓樓梯)，如圖 1.2 所示，圖書館共有地上四層、地下二層，流通櫃台在一樓西北方，行政辦公室設於一樓西面南北兩側及四樓前棟，電腦

查詢區設在前棟一樓南側及後棟每樓樓梯口，影印機在地下一樓、一樓特藏室旁及二樓樓梯旁。夾層書庫在前棟中央，將二至四樓高度分成四層夾層，因此僅二樓與四樓與夾層相通，夾層 2 和夾層 3 與前棟不能相通，另夾層書庫前後棟中間有一專用書梯。書架區大部分在前棟南北側、中間夾層書庫以及後棟，閱覽座位大多設在外周窗邊及各分區書架周圍，因圖書館為舊建築改建，館員及讀者共用電梯及出入口。

為方便後續調查，先將圖書館依照不同功能使用分區編號，不同性質空間用英文字母順時鐘依序編號，相同性質空間則於英文字母後加上數字作為區別，圖書館各樓層使用分區、編號及位置介紹如下。

一樓為圖書館之主樓層，西邊設有單一入口(一樓平面抬高需爬樓梯進入，東面後門目前不使用)，主要空間設有 A. 門廳、B. 大廳、C1. 行政辦公室、C2. 行政辦公室、D. 流通櫃檯與展示空間、E. 中西文參考書區與 F. 電腦檢索區，以及快速檢索區、展示區、特藏區、地圖區、廁所等附屬空間，另走道等中介空間編號為 V1、V2，如圖 1.3 所示。

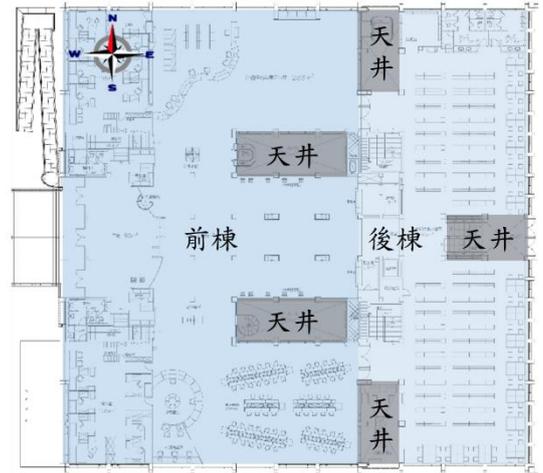


圖 1.2 圖書館結構平面

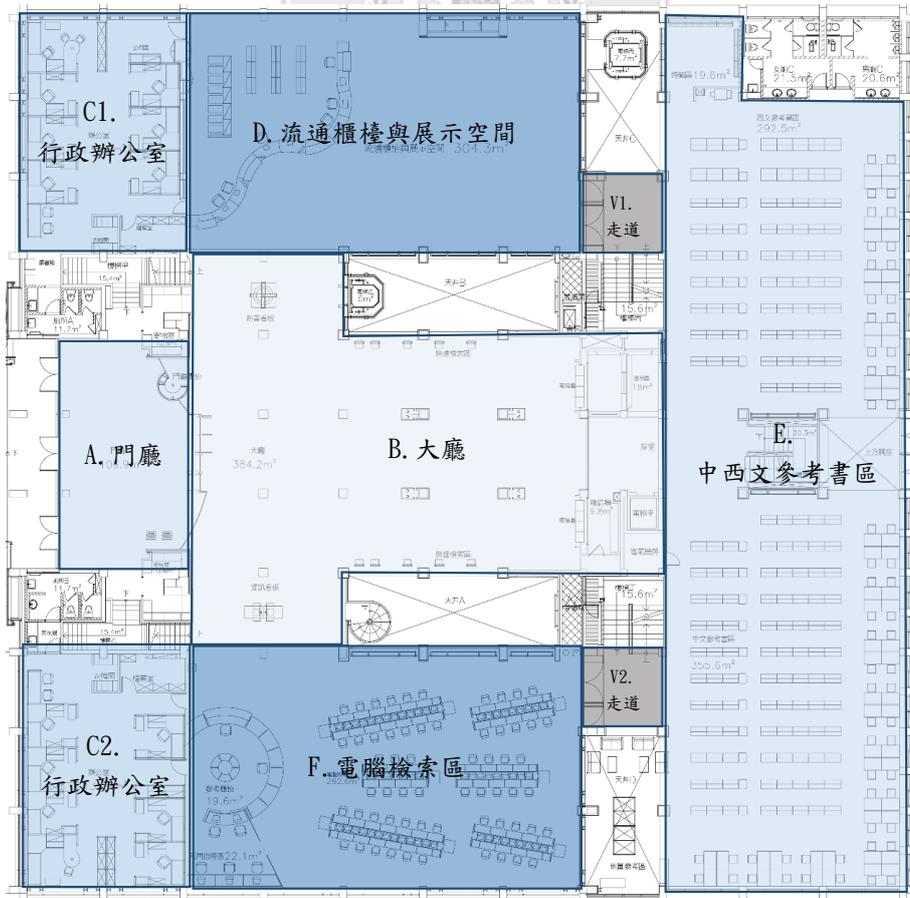


圖 1.3 一樓平面配置圖

二樓主要空間分區為國際科技與管理學院、G1. 中區教學資源中心與人文社會館藏專區(以下簡稱教學資源中心)、H1. 中文書庫、I. 數位媒體實作中心、J1. 資訊素養推廣室、K1. 西文書庫(夾層 1)、U1. 討論室, 以及咖啡區、快速檢索區、廁所等附屬空間, 走道等中介空間編號為 V3~V7, 如圖 1.4 所示。(其中國際科技與管理學院、咖啡區暫不列入調查範圍)

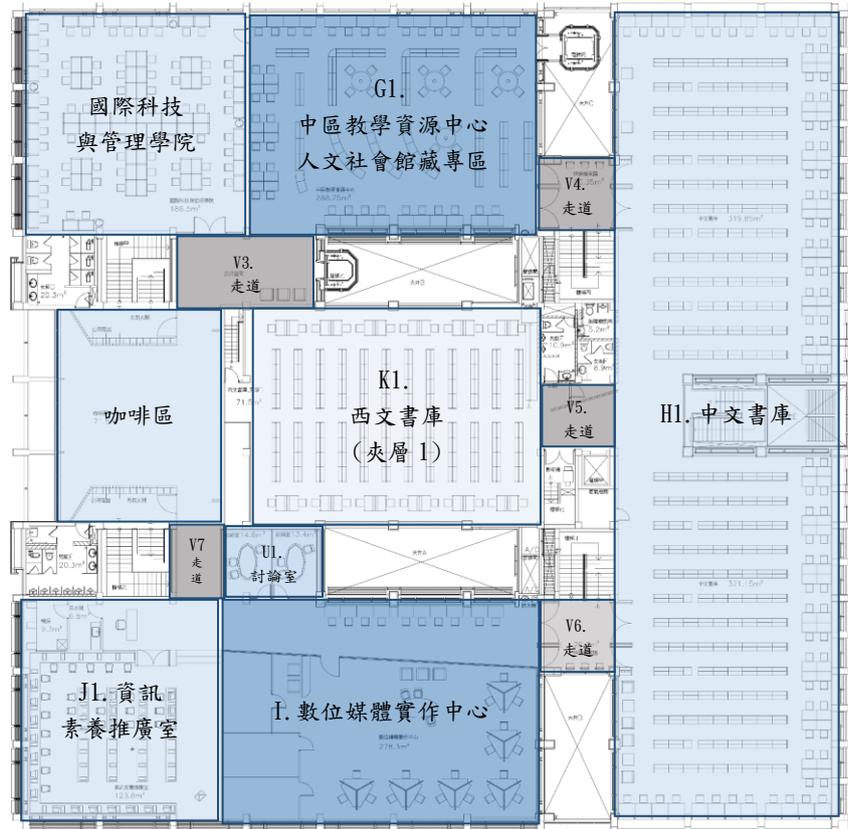


圖 1.4 二樓平面配置圖

三樓主要空間分區為 L. 多媒體資料區、H2. 中文書庫、K2. 西文書庫(夾層 2)、K3. 西文書庫(夾層 3)、G2. 中區教學資源中心與人文社會館藏專區(以下簡稱教學資源中心)、J2. 資訊素養推廣室、M. 休閒閱讀區、U2. 討論室, 以及視聽小間、快速檢索區、廁所等附屬空間, 走道等中介空間編號為 V8~V12, 如圖 1.5 所示。

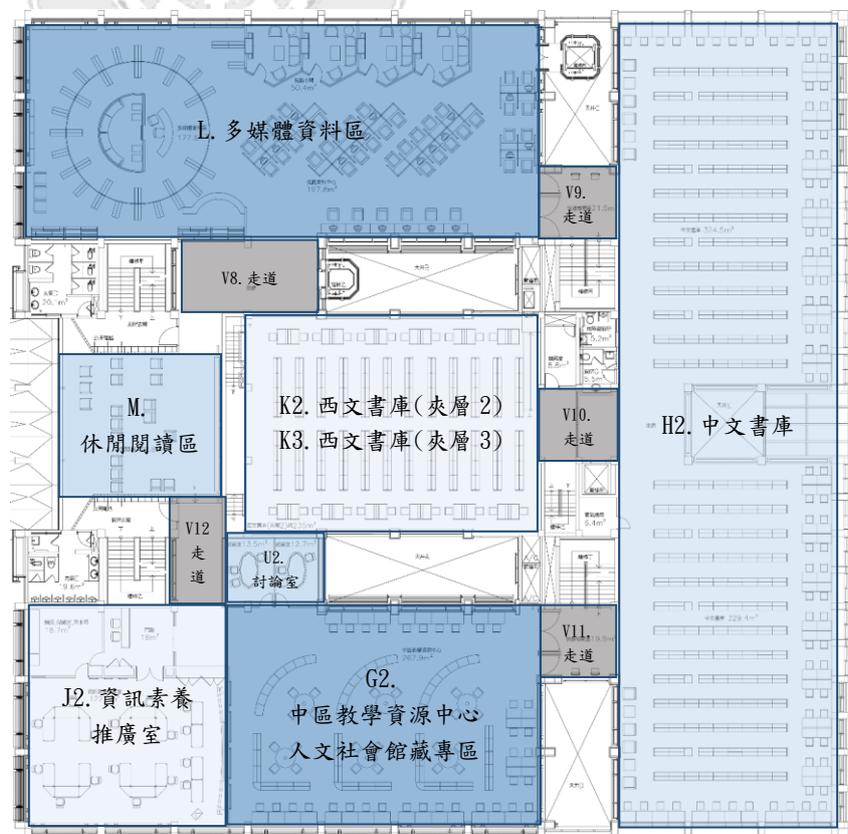


圖 1.5 三樓平面配置圖

四樓主要空間分區為

C3-1. 行政辦公室、C3-2. 行政辦公室、C3-3. 行政辦公室、H3. 中文書庫、H4. 中文書庫(夾層 4)、U3. 討論室、U4. 研究室，走道等中介空間編號為 V13~V15，如圖 1.6 所示。

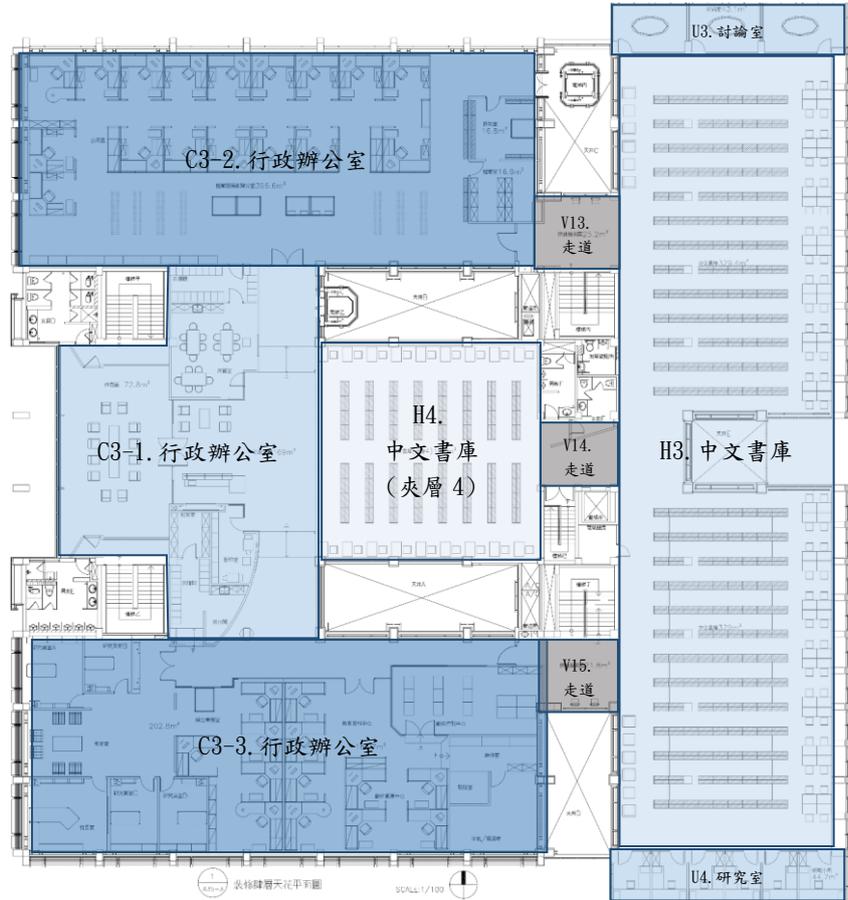


圖 1.6 四樓平面配置圖

地下一樓主要空間分區為 N. 西文過刊區、P. 語言學習區、Q. 中西文現刊區、R. 本校學位論文區、S. 中文過刊區、T. 閱報區、U5. 影印室，以及微縮資料區、廁所等附屬空間，走道等中介空間編號為 V16~V18，如圖 1.7 所示。

地下二層為演講廳及罕用書區，本次調查範圍以讀者借書、閱讀等行為為主，調查範圍為一樓(1F)至四樓(4F)以及地下一樓(B1)部分，地下二樓(B2)暫不納入此次調查分析的範圍內。

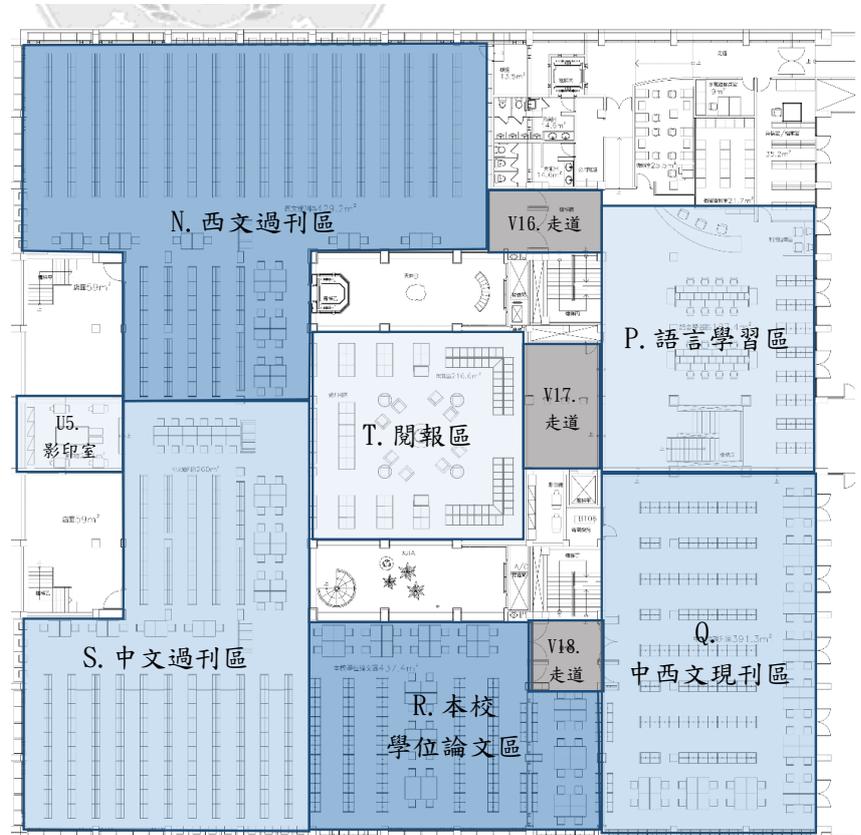


圖 1.7 地下一樓平面配置圖

1.3 逢甲大學圖書館照明系統介紹

1.3.1 天花板照明系統

圖書館照明主要提供讀者查詢取書以及一般閱讀照明，大部分設置於天花板(閱讀區座位設有桌面燈光備用)，依照光源種類與天花板裝潢搭配燈具型式可分為下列數種，光源種類有 T8 日光燈管(2 呎 20W 或 4 呎 36W)、T5 日光燈管(2 呎 14W 或 4 呎 28W)、EEFL 外置電極平面螢光燈(2 呎 60W 或 4 呎 100W)、PL-C 型螢光燈管(緊湊型螢光燈管，燈具分為 13Wx1 支或 2 支)，而天花板裝潢搭配燈具型式可分為，日光燈懸吊於天花板搭配鋁製沖孔燈罩(門廳及大廳)、日光燈投光於天花板之間接照明(大廳)、一般型燈具嵌入天花板裝潢木作(書架區及外圍裝飾燈)、嵌入型輕鋼架燈具附隔柵(二樓及三樓教學資源中心、數位媒體實作中心、地下一樓)、懸吊式燈具附隔柵(二樓及四樓後棟閱讀區)、T8 日光燈搭配霧面燈罩側面內透光照明(後棟各樓層書架西側走道)，EEFL 平面螢光燈則有嵌入輕鋼架天花板或天花板吸頂式兩種(流通櫃檯與展示空間、電腦檢索區、後棟書架周圍閱讀區、視聽資料中心等)，而使用 PL 型燈均為嵌入天花板木作的筒燈(門廳、各樓梯廳走道等中介空間)，照明光源與燈具型式如表 1.1 所示。

表 1.1 天花板照明系統主要類型



照明型式	配置地點	消耗功率	圖示
<p>【直接照明】</p> <p>● 懸吊式燈具</p> <p>● 鋁製沖孔燈罩</p> <p>● 日光燈管</p>	<p>● A. 門廳</p> <p>● B. 大廳、穿堂</p> <p>● 地下一樓 V17. 走道</p>	<p>【T8】</p> <p>4 呎 36Wx2=72W</p>	
<p>【間接照明】</p> <p>● 燈罩開口朝上</p> <p>● 天花板反射板</p> <p>● 日光燈管</p>	<p>● B. 大廳</p>	<p>【T8】</p> <p>4 呎單支 36W</p>	
<p>【直接照明】</p> <p>● 一般型燈具嵌入天花板裝潢木作</p> <p>● 無燈罩</p> <p>● 日光燈管</p>	<p>● 櫃台空間</p> <p>● 各樓書架區</p> <p>● 各空間外圍裝飾燈</p>	<p>【T8】</p> <p>2 呎單支 20W</p> <p>4 呎單支 36W</p> <p>【T5】</p> <p>2 呎單支 14W</p> <p>4 呎單支 28W</p>	  
<p>【直接照明】</p> <p>● 嵌入式輕鋼架燈具附隔柵</p> <p>● 鏡面反射板</p> <p>● 日光燈管</p>	<p>● 書架區</p> <p>● 閱讀區</p>	<p>【T8】</p> <p>2 呎 20Wx2=40W</p> <p>4 呎 36Wx2=72W</p> <p>2 呎單支 20W</p> <p>4 呎單支 36W</p> <p>【T5】</p> <p>4 呎單支 28W</p>	 
<p>【直接照明】</p> <p>● 懸吊式燈具附隔柵</p> <p>● 日光燈管</p>	<p>● 二樓閱讀區</p> <p>● 四樓閱讀區</p>	<p>【T8】</p> <p>2 呎單支 20W</p> <p>4 呎單支 36W</p>	
<p>【半間接照明】</p> <p>● 霧面燈罩</p> <p>● 日光燈管</p>	<p>● 各樓層前後棟之間西側走道裝飾照明</p>	<p>【T8】</p> <p>4 呎單支 36W</p>	



1.3.2 桌面照明系統

圖書館除安裝於天花板之燈具提供環境及書架區大部分照明以外，閱讀區再輔以桌面照明以達到閱讀照度要求，主要分為兩種類型，一種為桌面本身固定附屬 T8 日光燈(搭配沖孔燈罩防止炫光)，另一種為外加桌面桌燈，如表 1.2 所示。

表 1.2 桌面照明系統主要類型

照明型式	配置地點	消耗功率	圖示
【直接照明】 <ul style="list-style-type: none"> ● 固定於桌面 ● 沖孔燈罩 ● 日光燈管 	各樓層閱讀區桌面	【T8】 2 呎單支 20W	
【直接照明】 <ul style="list-style-type: none"> ● 外加桌燈 ● 緊湊型螢光燈 	各樓層閱讀區桌面	【PL-F 型】 單支 27W	

1.3.3 照明控制系統

圖書館整體照明系統為二線式設計，可於燈具所在附近的手動開關以及流通櫃檯內的手動遠端控制開關啟閉，還可以在四樓辦公室的中央電腦控制，直接控制整區域的照明啟閉，如表 1.3 所示。

表 1.3 照明控制開關類型

在地手動開關	二線式遠端控制開關	中央電腦系統開關
		

圖書館目前雖具備二線式照明控制系統，但並未由電腦設定不同時段燈具之開啟，也沒有設定較詳細的分區控制，使得圖書館所有區域，在開館時段 8：30~22：00 燈具只能全部開啟，有浪費之虞，且雖有將部分燈具做節能關閉，但沒有因時間切換的情況下，可能造能日間照度足夠，夜間卻可能不足的情況發生，若能將二線式照明控制系統充分利用，重新設定電腦控制選項，分時分區照明控制，定能達到智慧照明控制與節能之顯著效果。

1.3.4 晝光利用現況

圖書館晝光資源十分充足，除了前棟外圍與中間夾層留有天井，與後棟之間也留有南北天井，而後棟本身東面還有一天井，且地下一樓邊緣也留有天窗引入日光，因此讓室內更加明亮，只是前棟西面雖留有大面積玻璃，及各樓層閱讀區亦多靠窗邊設置，但因為怕炎熱通常將遮陽簾放下，造成晝光利用率不高，天氣晴朗時將遮陽簾拉起至少可增加 200 Lux 以上。晝光利用情形如表 1.4 所示。

表 1.4 晝光利用現況

前棟外圍與夾層之間天井	前後棟之間天井	後棟東側天井
		
地下一樓邊緣天窗	窗邊閱讀區使用遮陽簾	休閒閱讀區使用遮陽簾
		

第二章 圖書館照明現況

2.1 照明設備使用現況與照明用電密度(LPD)

照明設備的耗電量即是整體燈具與光源的消耗功率，一個燈具每秒鐘所消耗的能量(J 焦耳)即為功率(單位是瓦特 W)，而評估照明系統節能或耗電與否，常用指標，是將整區域之燈具之消耗功率加總，除以燈具照射之總面積(m^2)，稱為『照明用電密度(Light Power Density, 簡稱 LPD)』(或稱為「照明功率密度」，單位是 W/m^2)，表示每單位面積之耗功率，數值越高代表每秒鐘消耗電量越多，按照內政部建築研究所出版之《綠建築評估手冊》中，主要作業空間照明功率密度基準 $LPD_{cj}(W/m^2)$ ，規定辦公室、行政空間、閱覽室、書庫基準值應在 $15(W/m^2)$ 以下為佳。

本來計算 LPD 時應將所有燈具之消耗功率計入，但因現有圖書館之照明設計超過十年，後又經過照明改善更新，當初設計時的燈具狀況與現在使用情況已經有所差異，有許多燈具平時為了節能皆不開啟，為求謹慎本調查將 LPD 分為原設計燈具之數值與實際使用之數值兩種，並將高於 $15(W/m^2)$ 之區域以深底色標註，而本智慧照明研究示範計畫之目標值為 $10(W/m^2)$ 以下，故將 $10\sim 15(W/m^2)$ 以淺底色標示。以下說明各樓層使用現況以及照明用電密度(LPD)。

2.1.1 一樓照明設備使用現況與 LPD

圖書館燈具類型如前章所述，種類十分單純，主要空間使用 T8 及 T5 日光燈管，除間接照明式，直接照明則以一般燈具、輕鋼架內嵌式燈具加格柵或吊掛式加隔柵等，這三類燈具數量最多；走道等中介空間多用 PL-C 螢光燈，數量不多，大部份桌面有加裝桌燈補充照明(二樓數位媒體實作中心、二和三樓教學資源中心部分座位沒有加裝桌燈)。

一樓詳細分區為：A. 門廳、B. 大廳、C1. 行政辦公室、C2. 行政辦公室、D. 流通櫃檯/展示空間、E. 中西文參考書區、F. 電腦檢索區、V1. 走道、V2. 走道。原設計之燈具功率共 28562(W)，扣除節電實際使用之燈具總功率為 19029(W)，節省 33.38%。其中中西文參考書區 T8 單燈數量多，以及行政辦公室、展示空間、電腦檢索區雖改平面螢光燈，但周圍 T8 裝飾燈不少，造成 LPD 較高，一樓 LPD 如表 2.1、圖 2.1 所示，現況照片如表 2.2 所示。

表 2.1 一樓照明設備 LPD

1F		原設計之 LPD(W/m^2)	實際使用之 LPD(W/m^2)
使用分區	A. 門廳	12.89	7.40
	B. 大廳	13.09	11.33
	C1. 行政辦公室	16.30	10.29
	C2. 行政辦公室	16.30	10.29
	D. 流通櫃檯/展示空間	14.61	11.36

E. 中西文參考書區	17.68	8.31
F. 電腦檢索區	14.96	12.48
V1. 走道	9.18	3.06
V2. 走道	9.18	3.06

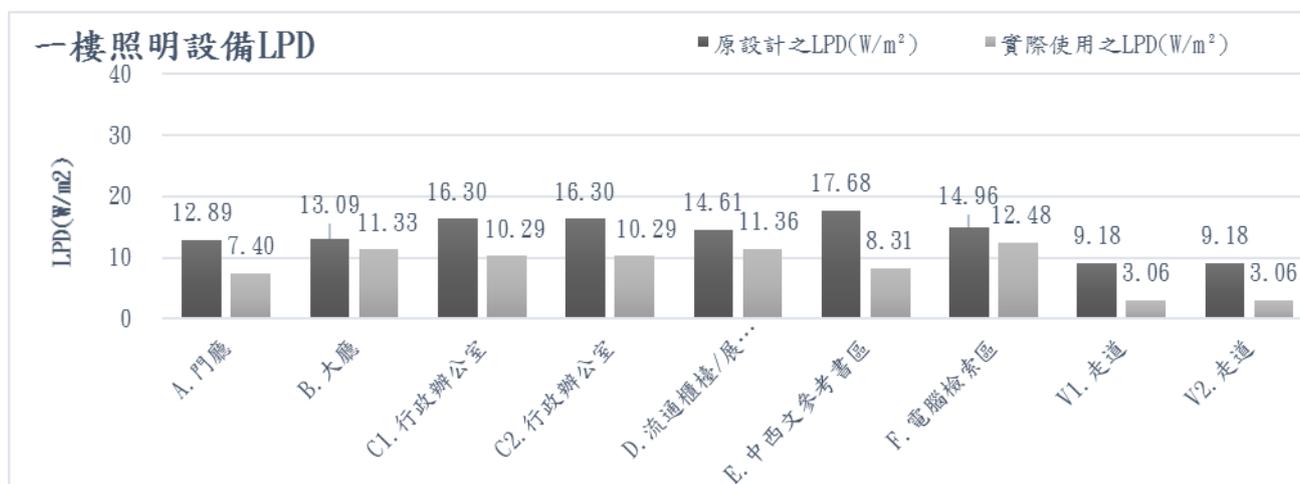


圖 2.1 一樓照明設備 LPD



表 2.2 一樓現況照片

2.1.2 二樓照明設備使用現況與 LPD

二樓詳細分區為：G1. 教學資源中心、H1. 中文書庫、I. 數位媒體實作中心、J1. 資訊素養推廣室、K1. 西文書庫(夾層 1)、U1. 討論室、V3. 走道、V4. 走道、V5. 走道、V6. 走道、V7. 走道。原設計之燈具功率共 38285(W)，扣除節電實際使用之燈具總功率為 28010(W)，節省 26.84%。其中教學資源中心、數位媒體實作中心及資訊數養推廣室多數照明為 T8 雙燈，中文書庫多為 T8 單燈管，因此 LPD 較高，圖書館二樓 LPD 如表 2.3、圖 2.2 所示，現況照片如表 2.4 所示。

表 2.3 二樓照明設備 LPD

2F		原設計之 LPD(W/m ²)	實際使用之 LPD(W/m ²)
使用分區	G1. 教學資源中心	38.16	19.19
	H1. 中文書庫	20.03	15.10
	I. 數位媒體實作中心	35.52	29.57
	J1. 資訊素養推廣室	25.92	23.24
	K1. 西文書庫(夾層 1)	11.95	10.85
	U1. 討論室	20.42	15.00
	V3. 走道	13.69	10.33
	V4. 走道	9.18	1.53
	V5. 走道	12.00	2.00
	V6. 走道	9.18	0.00
	V7. 走道	13.00	2.17

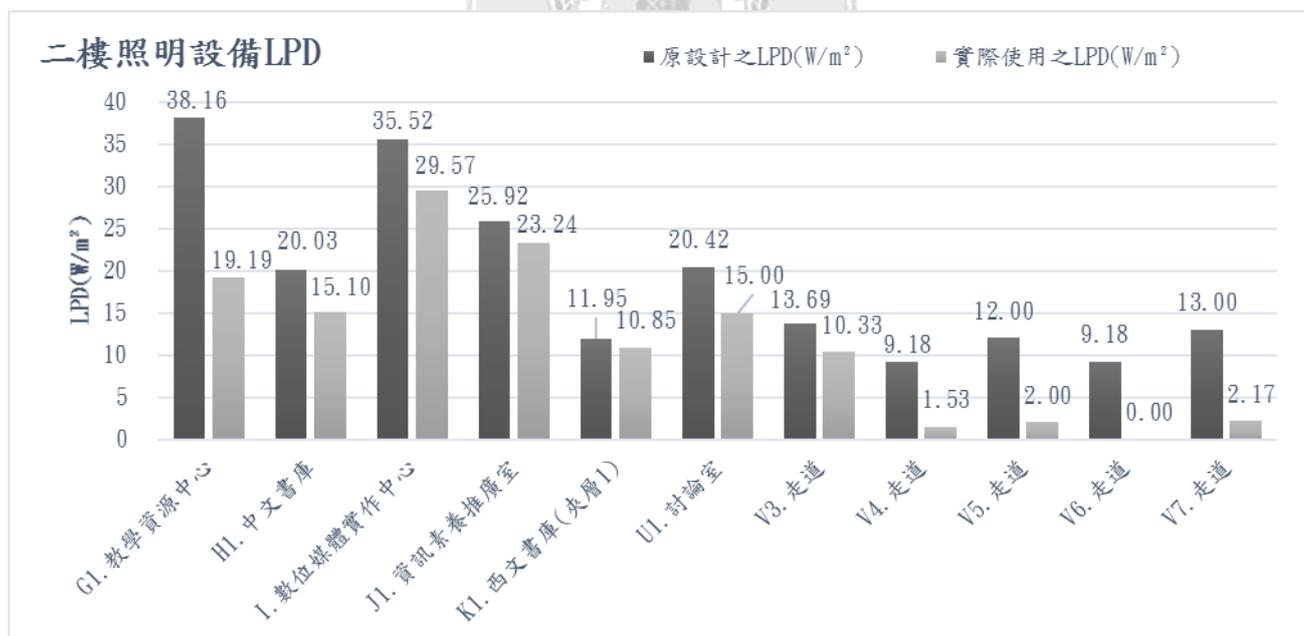


圖 2.2 二樓照明設備 LPD

表 2.4 二樓現況照片



2.1.3 三樓照明設備使用現況與 LPD

三樓詳細分區為：L. 多媒體資料區、M. 休閒閱讀區、H2. 中文書庫、G2. 教學資源中心、J2. 資訊素養推廣室、K2. 西文書庫(夾層 2)、K3. 西文書庫(夾層 3)、U2. 討論室、V8. 走道、V9. 走道、V10. 走道、V11. 走道、V12. 走道。原設計之燈具功率共 30521(W)，扣除節電實際使用之燈具總功率為 27687(W)，節省 9.29%。圖書館三樓 LPD 如表 2.5、圖 2.3 所示，現況照片如表 2.6 所示。

表 2.5 三樓照明設備 LPD

3F		原設計之 LPD(W/m ²)	實際使用之 LPD(W/m ²)
使用分區	L. 多媒體資料區	15.83	14.16
	M. 休閒閱讀區	13.75	13.15
	H2. 中文書庫	15.56	14.93
	G2. 教學資源中心	17.12	15.29
	J2. 資訊素養推廣室	15.43	15.30
	K2. 西文書庫(夾層 2)	12.09	10.68
	K3. 西文書庫(夾層 3)	11.63	10.85
	U2. 討論室	15.00	15.00
	V8. 走道	13.25	4.44
	V9. 走道	9.75	0.00
	V10. 走道	13.00	4.33
	V11. 走道	9.75	1.63
V12. 走道	13.00	8.67	

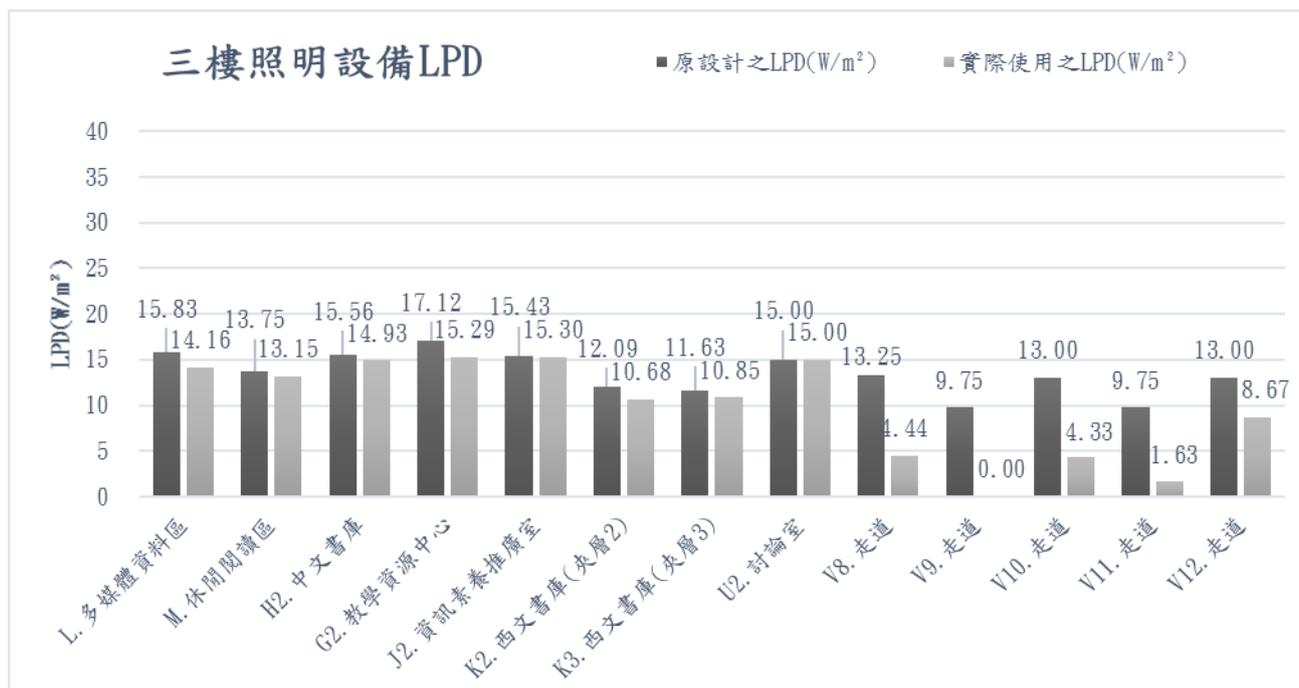


圖 2.3 三樓照明設備 LPD



表 2.6 三樓現況照片

V8. 走道	V9. 走道	V10. 走道	V11. 走道	V12. 走道
L. 多媒體資料區		M. 休閒閱讀區		
				
H2. 中文書庫		G2. 教學資源中心		
				
J2. 資訊素養推廣室		U2. 討論室		
				
K2. 西文書庫(夾層 2)		K3. 西文書庫(夾層 3)		
				
				

2.1.4 四樓照明設備使用現況與 LPD

四樓詳細分區為：C3-1. 行政辦公室、C3-2. 行政辦公室、C3-3. 行政辦公室、H3. 中文書庫、H4. 中文書庫-夾層 4、U3. 討論室、U4. 研究室、V13. 走道、V14. 走道、V15. 走道。原設計之燈具功率共 35568(W)，扣除節電實際使用之燈具總功率為 27898(W)，節省 21.56%。圖書館四樓 LPD 如表 2.7、圖 2.4 所示，現況照片如表 2.8 所示。

表 2.7 四樓照明設備 LPD

4F		原設計之 LPD(W/m ²)	實際使用之 LPD(W/m ²)
使用分區	C3-1. 行政辦公室	17.15	9.59
	C3-2. 行政辦公室	18.76	14.43
	C3-3. 行政辦公室	19.78	14.35
	H3. 中文書庫	17.40	16.80
	H4. 中文書庫(夾層 4)	14.15	12.07
	U3. 討論室	14.67	11.20
	U4. 研究室	16.18	12.71
	V13. 走道	9.75	0.00
	V14. 走道	13.00	5.57
	V15. 走道	9.75	0.00

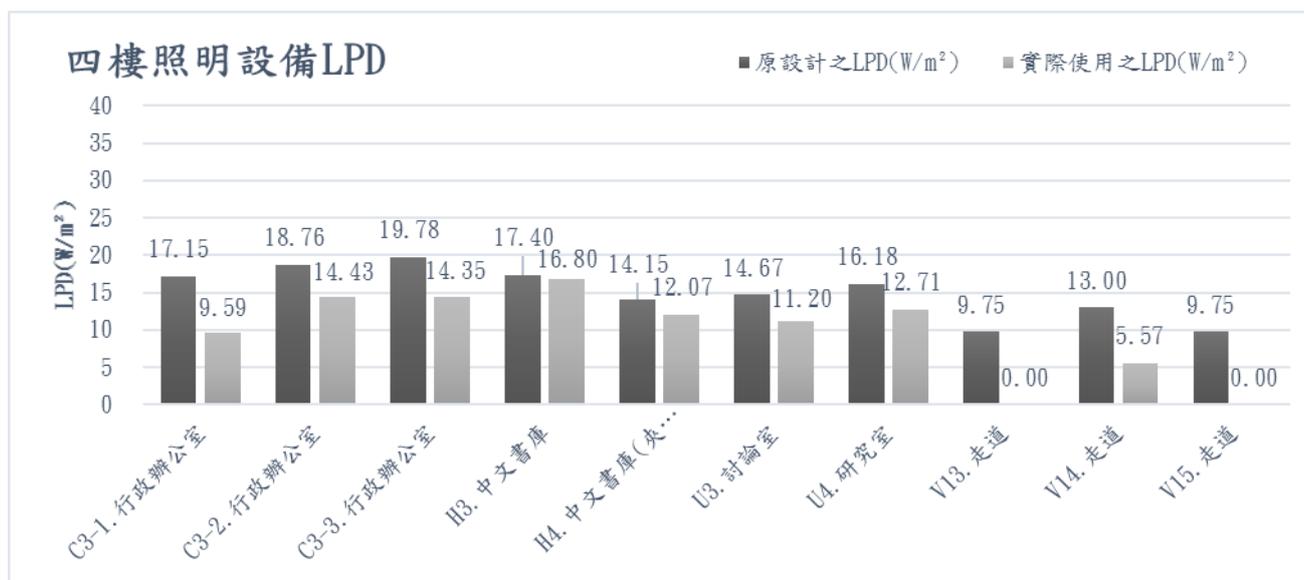


圖 2.4 四樓照明設備 LPD

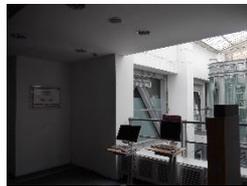
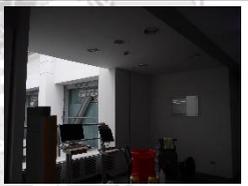
C3. 行政辦公室		H3. 中文書庫	
			
H4. 中文書庫-夾層 4		U3. 討論室	
			
U4. 研究室		V13. 走道	
			
V14. 走道		V15. 走道	
			

表 2.8 四樓現況照片

2.1.5 地下一樓照明設備使用現況與 LPD

地下一樓詳細分區為：N. 西文過刊區、P. 語言學習區、Q. 中西文現刊區、R. 本校學位論文區、S. 中文過刊區、T. 閱報區、U5. 影印室、V16. 走道、V17. 走道、V18. 走道。原設計之燈具功率共 52219(W)，扣除節電實際使用之燈具總功率為 43616(W)，節省 16.47%。圖書館地下一樓 LPD 如表 2.9、圖 2.5 所示，現況照片如表 2.10 所示。

表 2.9 地下一樓照明設備 LPD

B1		原設計之 LPD(W/m ²)	實際使用之 LPD(W/m ²)
使用分區	N. 西文過刊區	31.50	29.53
	P. 語言學習區	20.92	18.13
	Q. 中西文現刊區	35.76	24.97
	R. 本校學位論文區	31.63	27.02
	S. 中文過刊區	28.10	22.73
	T. 閱報區	11.85	10.66

U5. 影印室	10.20	8.64
V16. 走道	8.67	4.33
V17. 走道	7.89	2.05
V18. 走道	8.67	0.00

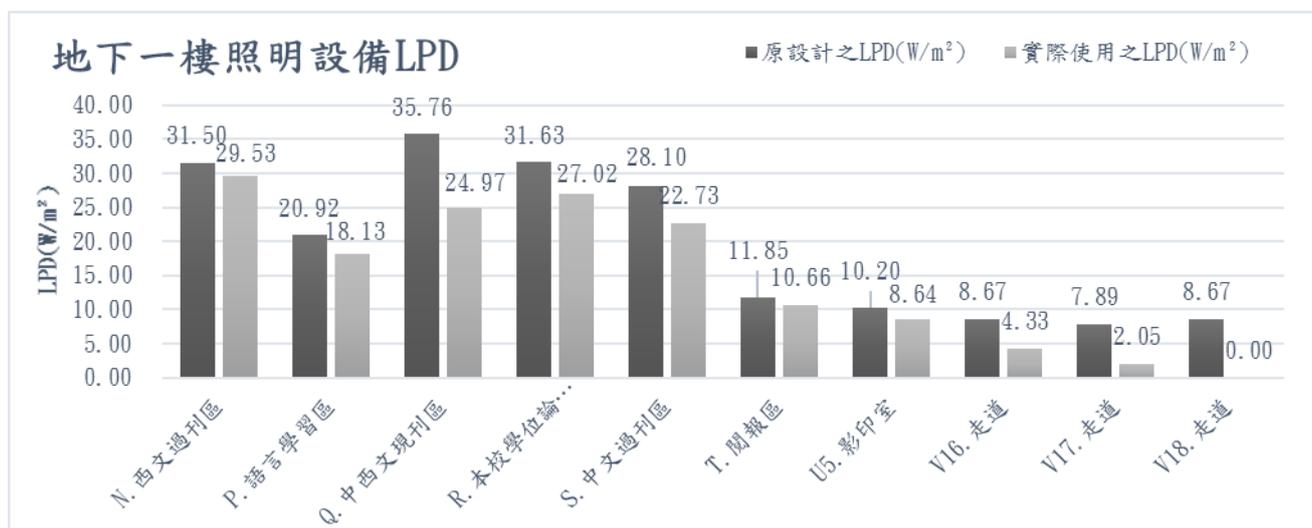


圖 2.5 地下一樓照明設備 LPD



表 2.10 地下一樓現況照片

N. 西文過刊區		P. 語言學習區	
Q. 中西文現刊區		R. 本校學位論文區	
S. 中文過刊區		T. 閱報區	
U5. 影印室	V16. 走道	V17. 走道	V18. 走道

2.1.6 小結

總結前述各樓層燈具消耗功率與分區之照明用電密度(LPD)結果，計算出各樓層整層 LPD 及找出該樓層 LPD 偏高的區域，顯示圖書館全館原設計值均超過標準，實際使用值也都超過本計畫目標值 $10(W/m^2)$ ，其中以有更換平面螢光燈的區域 LPD 均明顯較低，而有將原 T8 雙燈管改為 T5 單燈管之區域也會較低，許多區域是原設計之燈具 LPD 超過綠建築評估手冊基準值 $15(W/m^2)$ ，但實際使用時有些燈不開，LPD 即降到 $15(W/m^2)$ 以下，而所有樓層中，地下一樓的 LPD 最高，高達 $27.23(W/m^2)$ ，二樓為第二高，為 $24.09(W/m^2)$ ，原因是未改成 EEFL 平面螢光燈或 T5 日光燈的區域較多導致 LPD 非常高，使得許多區域實際使用現況還超過 $20(W/m^2)$ ，應列為優先改善重點樓層，其他樓層 LPD 較高之區域亦為 T8 雙燈較多的區域，整理如表 2.11、圖 2.6 所示。

表 2.11 圖書館各樓層 LPD

樓層	總消耗功率(W)		LPD (W/m^2)		該樓層 LPD 偏高區域
	設計值	實際使用	原設計值	實際使用	
1F	28562	19029	15.25	10.16	E. 中西文參考書區
2F	38285	28010	24.09	17.63	G1. 教學資源中心、I. 數位媒體實作中心、J1.

					資訊素養推廣室、H1. 中文書庫
3F	30521	27687	14.72	13.36	J2. 資訊素養推廣室
4F	35568	27898	17.60	13.80	H3. 中文書庫
B1	52219	43616	27.24	22.75	N. 西文過刊區、R. 本校學位論文區、Q. 中西文現刊區、S. 中文過刊區、P. 語言學習區
全館	185155	146240	19.55	15.44	B1 與 2F 為偏高樓層

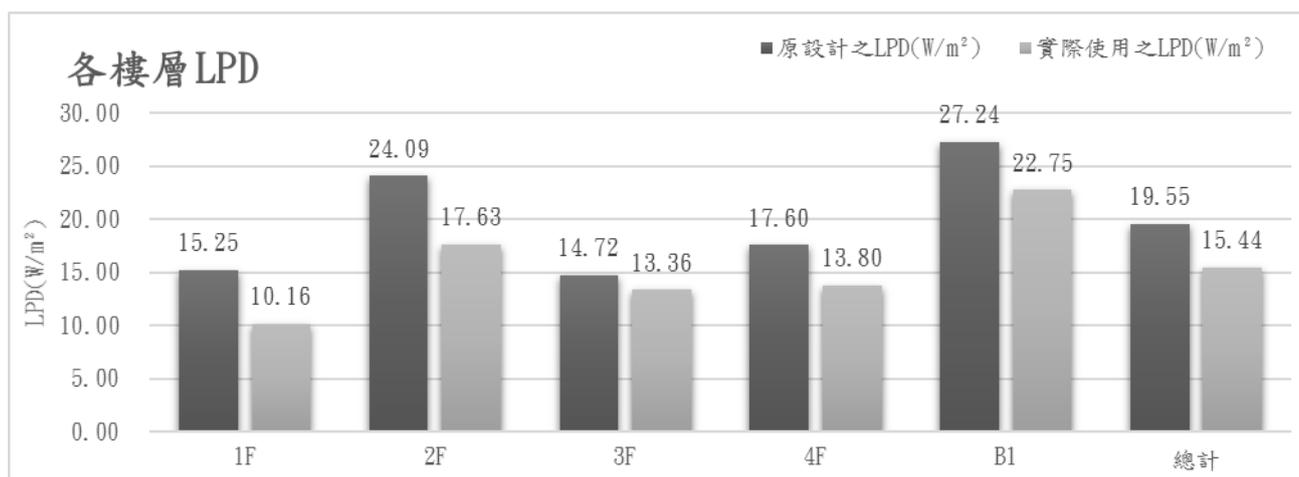


圖 2.6 各樓層 LPD

各區域之中，LPD 值前 10 高的樓層區域如表 2.12 所示，以二樓與地下一樓佔多數，其中書庫類型空間為西文過刊區、本校學位論文區、中西文現刊區、中文過刊區等，功能較為單純且開燈時間最長，應做為優先改善區域，數位媒體實作中心、教學資源中心、語言學習區為綜合功能，資訊素養推廣室使用頻率較低，可作為次要改善區域。

表 2.12 LPD 前 10 高之樓層分區

排名	所在樓層	分區代號	實際使用之 LPD(W/m ²)
1	2F	I. 數位媒體實作中心	29.57
2	B1	N. 西文過刊區	29.53
3	B1	R. 本校學位論文區	27.02
4	B1	Q. 中西文現刊區	24.97
5	2F	J1. 資訊素養推廣室	23.24
6	2F	S. 中文過刊區	22.73
7	2F	G1. 教學資源中心	19.19
8	B1	P. 語言學習區	18.13
9	3F	J2. 資訊素養推廣室	15.30
10	3F	G2. 教學資源中心	15.29

2.2 照度現況測量

照明環境設計良好的閱覽空間可使讀者集中精神並保護視力，一個良好的閱讀環境應有足夠的照度，當照度太低時，容易導致眼睛疲勞而傷害視力，照度太高則過分明亮刺眼，並形成電力的浪費，同時桌面照明均齊度也不能太低，並且需注意眩光的問題，可用有燈罩或遮光板之燈具改善。圖書館的照明設計原則中，圖書館照明可依書架區、閱讀區、走道或樓梯而變化，燈管排列應注意書架排列方向與位置應互相平行為佳，但也要避免因燈光的裝置把書架、閱覽桌椅或其他家具的位置固定住。對於圖書館的使用者而言，找書與閱讀的動作最為重要，因此在書架區能否看清楚書背的字以及書架上的編號是重點，以及找到書之後在閱讀區的閱讀行為，必須要有足夠的照度才能看清文字，所以書架和書桌的照明方式以及光線是否合適，成了圖書館照明設計的重要課題。

照度 (illuminance) 是受照射平面上接受的光通量的面密度，符號為 E ，照度單位為勒克斯(Lux)。1 勒克斯等於 1 流明的光通量均勻分佈在 1 平方米表面上所產生的照度，即 $1 \text{ Lux} = 1 \text{ lm/m}^2$ 。依照我國 CNS 標準(CNS 12112)，圖書館各空間照度標準建議，大廳為 75~100(Lux)、閱讀區為 500~700(Lux)、書架區為 200~300(Lux)，以及日本 JIS 標準，圖書館各空間照度標準建議，大廳為 75~150(Lux)、閱覽室為 500~750(Lux)、開架書庫區為 200~300(Lux)，各國之標準均差不多，因此設定本研究各空間照度標準如表 2.13 所示。

表 2.13 圖書館各空間照度標準

空間名稱	測量位置	照度標準(Lux)
大廳、走道	距地面 75cm 高水平面	75 以上
書架區、服務空間	距地面 75cm 高水平面	200 以上
閱讀區	桌面	500 以上

本節按照前述使用分區為空間進行照度測量，參考照度建議值探討圖書館現況照明設計是否需改進。因圖書館總樓地板面積廣大，但其所有結構柱心距離均為 4.5m，呈現方正的平行排列，且傢俱、書架擺設和隔間皆以結構方向為參考點呈規則排列，燈具與天花板排列亦大致相同，造成同一軸向的照明條件通常相同，故決定以 4.5m 為調查點間距，做等距離量測並將照度平均，使用量測儀器為照度計，遇有桌面之區域以桌面為測量點(約 75cm 高)測量桌面水平照度，書架區或走道等無桌面區域則以桌面同等之高度測量水平照度，調查數值取各點平均值表示，除日間照度外，再量測日落後的夜間照度以比較日光之影響，低於本研究各空間照度標準值以底色表示。

2.2.1 一樓照度現況

圖書館一樓各空間日間平均照度為 448(Lux)，夜間平均照度為 283(Lux)，如表 2.14、圖 2.7 所示，其中中西文參考書區的閱讀區有部分座位，開啟桌燈後夜間照度仍然不足，辦公室之照度為 258~361(Lux)不足 500(Lux)，且桌燈為固定式，不方便調整照射需要的區域，且有些座位無桌燈，。

表 2.14 一樓照度現況

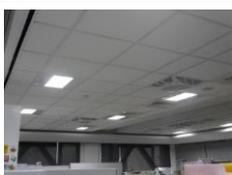
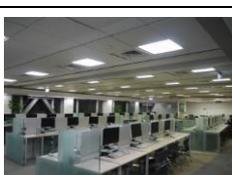
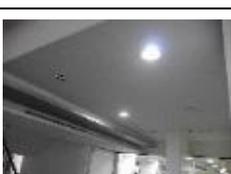
1F	日間照度 (Lux)	夜間照度 (Lux)	照片	
A. 大廳	931	169		
B. 大廳	165	149		
C1. 行政辦公室	407	361		
C2. 行政辦公室	280	258		
D. 流通櫃檯/展示空間	519	424		
E. 中西文參考書區(書架)	281	268		
F. 電腦檢索區	585	445		
V1. 走道	135	139		
V2. 走道	202	180		
1F 閱讀區	日間照度(Lux)		夜間照度(Lux)	
	桌燈未開	桌燈開啟	桌燈未開	桌燈開啟
E. 中西文參考書區(閱讀)	627	923	261	582



圖 2.7 一樓照度現況

2.2.2 二樓照度現況

圖書館二樓各空間日間平均照度為 371(Lux)，夜間平均照度為 303(Lux)，如表 2.15、圖 2.8 所示，其中教學資源中心、數位媒體實作中心、夾層 1 的閱讀區以及走道有夜間照度不足問題，夾層 1 有部分閱讀區開啟桌燈後照度仍不足，且書架區有燈具眩光問題，數位媒體實作中心關門後因為需提供走廊照明而將燈具全開有浪費之虞。

表 2.15 二樓照度現況

2F	日間照度 (Lux)	夜間照度 (Lux)	照片
G1. 教學資源中心(書架)	469	450	 
H1. 中文書庫(書架)	246	232	 
I. 數位媒體實作中心	790	434	 

J1. 資訊素養推廣室	608	500		
K1. 西文書庫(夾層 1)(書架)	331	299		
U1. 討論室	448	468		
V3. 走道	164	206		
V4. 走道	18	21		
V5. 走道	105	143		
V6. 走道	48	19		
V7. 走道	93	7		
2F 閱讀區	日間照度(Lux)		夜間照度(Lux)	
	桌燈未開	桌燈開啟	桌燈未開	桌燈開啟
G1. 教學資源中心(閱讀)	556	660	440	473
H1. 中文書庫(閱讀)	375	881	261	752
I. 數位媒體實作中心(閱讀)	400	無桌燈	377	無桌燈
K1. 西文書庫(夾層 1)(閱讀)	162	551	164	438

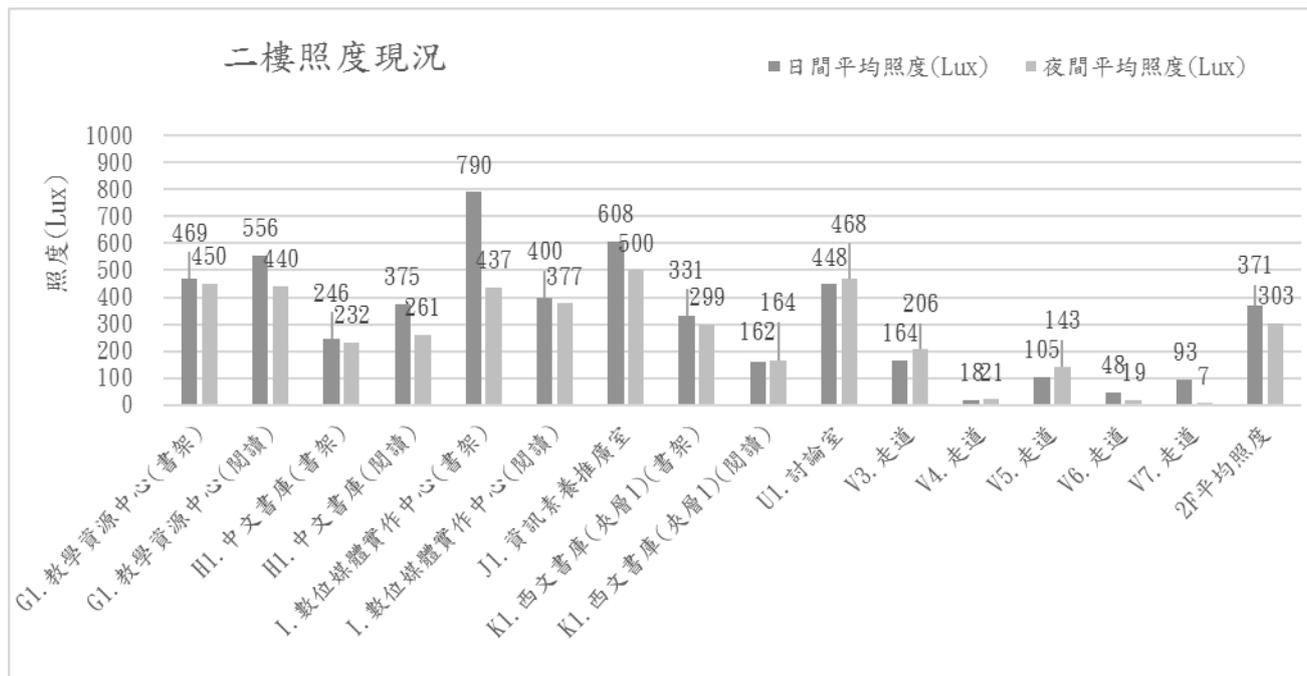


圖 2.8 二樓照度現況

2.2.3 三樓照度現況

圖書館三樓各空間日間平均照度為 380(Lux)，夜間平均照度為 345(Lux)，如表 2.16、圖 2.9 所示，其中教學資源中心、夾層 2、夾層 3 的閱讀區即使開啟桌燈之照度還比 500(Lux)略低，以及走道之照度亦低於 75(Lux)，顯示有照度不足之情形，且夾層 2、3 有燈具眩光問題。

表 2.16 三樓照度現況

3F	日間照度 (Lux)	夜間照度 (Lux)	照片
L. 多媒體資料區	454	470	
M. 休閒閱讀區	285	269	
H2. 中文書庫(書架)	410	402	

G2. 教學資源中心(書架)	480	442		
J2. 資訊素養推廣室	449	243		
K2. 西文書庫(夾層 2)(書架)	343	336		
K3. 西文書庫(夾層 3)(書架)	310	283		
U2. 討論室	418	689		
V8. 走道	132	115		
V9. 走道	32	25		
V10. 走道	142	169		
V11. 走道	35	24		
V12. 走道	150	122		
3F 閱讀區	日間照度(Lux)		夜間照度(Lux)	
	桌燈未開	桌燈開啟	桌燈未開	桌燈開啟
H2. 中文書庫(閱讀)	435	963	278	947
G2. 教學資源中心(閱讀)	440	496	389	462
K2. 西文書庫(夾層 2)(閱讀)	154	510	184	452
K3. 西文書庫(夾層 3)(閱讀)	151	491	167	427

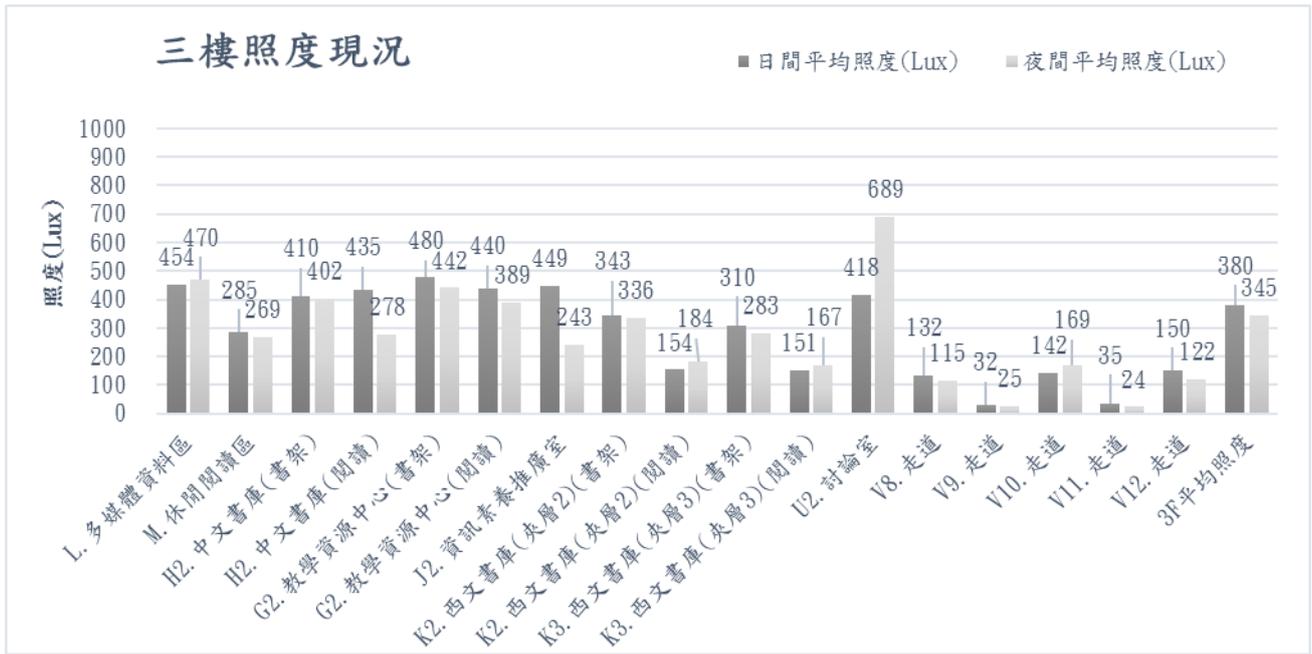


圖 2.9 三樓照度現況

2.2.4 四樓照度現況

圖書館四樓各空間日間平均照度為 307(Lux)，夜間平均照度為 238(Lux)，如表 2.17、圖 2.10 所示，其中辦公室部分桌面無桌燈或損壞，且桌燈固定使用不便，建議更換可調式桌燈，夾層 4 書架區(不足 200Lux)、研究室(不足 500Lux)、走道(不足 75Lux)有照度不足的問題。

表 2.17 四樓照度現況

4F	日間照度 (Lux)	夜間照度 (Lux)	照片
C3-1. 行政辦公室(走道、附屬空間)	110	93	
C3-2. 行政辦公室(辦公區)	572	399	
C3-3. 行政辦公室(辦公區)	459	308	

H3. 中文書庫(書架)	321	252		
H4. 中文書庫(夾層 4)(書架)	190	156		
U3. 討論室	700	460		
U4. 研究室	535	357		
V13. 走道	64	11		
V14. 走道	146	149		
V15. 走道	60	7		
4F 閱讀區	日間照度(Lux)		夜間照度(Lux)	
	桌燈未開	桌燈開啟	桌燈未開	桌燈開啟
H3. 中文書庫(閱讀)	310	649	283	591
H4. 中文書庫(夾層 4)(閱讀)	214	1452	78	1596

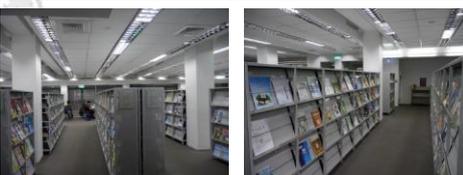


圖 2.10 四樓照度現況

2.2.5 地下一樓照度現況

圖書館地下一樓各空間日間平均照度為 458(Lux)，夜間平均照度為 470(Lux)，如表 2.18、圖 2.11 所示，其中閱報區照度不足 500(Lux)，可改為重點照明，而走道也有照度不足問題，另語言學習區雖無桌燈，但其座位區之全般照明高過標準許多，應可適當減少。

表 2.18 地下一樓照度現況

B1	日間照度 (Lux)	夜間照度 (Lux)	照片
N. 西文過刊區(書架)	467	430	
P. 語言學習區	460	499	
Q. 中西文現刊區(書架)	606	591	
R. 本校學位論文區(書架)	798	679	
S. 中文過刊區(書架)	424	469	
T. 閱報區	251	244	
U5. 影印室	386	364	
V16. 走道	58	57	

V17. 走道	60	55		
V18. 走道	32	37		
B1 閱讀區	日間照度(Lux)		夜間照度(Lux)	
	桌燈未開	桌燈開啟	桌燈未開	桌燈開啟
N. 西文過刊區(閱讀)	490	975	369	1020
P. 語言學習區(閱讀)	834	無桌燈	905	無桌燈
Q. 中西文現刊區(閱讀)	583	811	496	743
R. 本校學位論文區(閱讀)	468	736	485	820
S. 中文過刊區(閱讀)	366	917	271	771

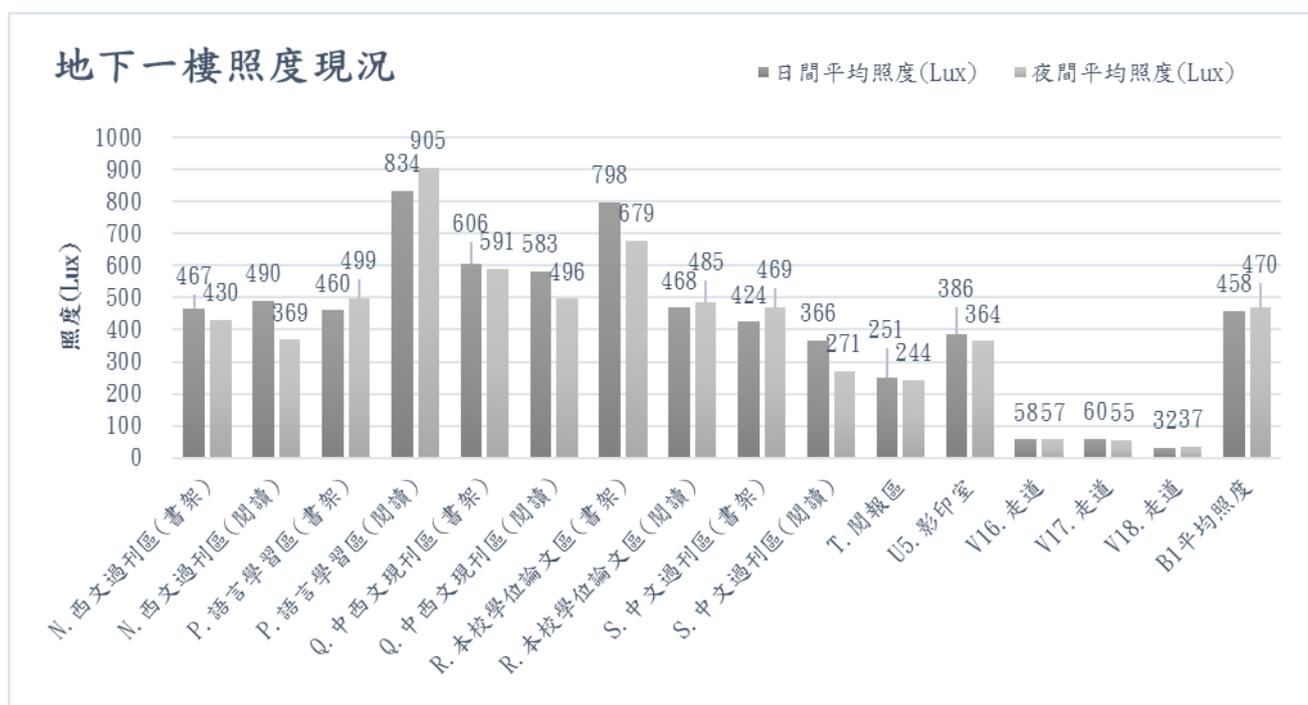


圖 2.11 地下一樓照度現況

2.2.6 小結

總結上述照度量測結果，可知圖書館日間照度平均值為 398Lux，夜間照度平均值為 335Lux，各樓層照度如表 2.19 及圖 2.12 所示。各書架區平均照度大多符合本研究標準，僅夾層 4 書架區照度略低於標準，各樓層走道因節能而部分燈具未開導致照度不足，以及部分閱讀區夜間照度不足，應加裝桌面輔助照明。此外夾層 2、3 閱讀區桌面輔助照明因光衰而使照度不足，辦公室部份座位無桌面輔助照明甚或損壞，且其桌面輔助照明為固定式使用較為不便。

表 2.19 圖書館各樓層平均照度

樓層		1F	2F	3F	4F	B1	總平均
平均照度 (Lux)	日間	448	371	380	307	458	398
	夜間	283	303	345	238	470	335

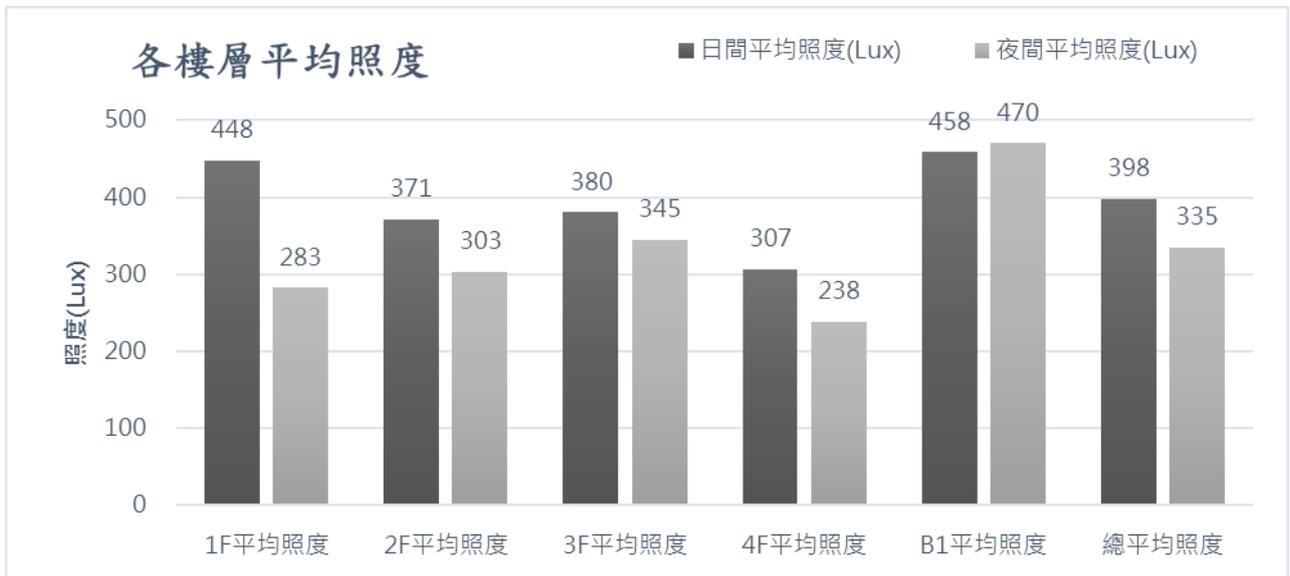


圖 2.12 各樓層平均照度

第三章 圖書館現有照明缺失檢討與改善策略

3.1 圖書館現有照明缺失檢討

本研究調查圖書館各樓層之照明用電密度 LPD，檢討圖書館照明現況之缺失後得知，圖書館原始照明設計之 LPD 平均值為 $19.55\text{W}/\text{m}^2$ ，除較綠建築評估手冊基準值 $15\text{W}/\text{m}^2$ 為高，亦較本計畫目標值 $10\text{W}/\text{m}^2$ 高出許多。主因其原始照明設計使用過多的燈具，且使用發光效率較差的 T8 日光燈管，導致照明用電密度 LPD 過高，其中地下一樓 LPD 高達 $27.24\text{W}/\text{m}^2$ ，二樓 LPD 亦高達 $24.09\text{W}/\text{m}^2$ ，亟需改善其照明方式以達節能省碳之目的。

此外，由本計畫調查結果得知，目前圖書館各空間現況照度多符合本計畫標準，亦即大廳或走道空間 75Lux 、服務空間及書架區 200Lux ，及閱讀區或辦公桌面 500Lux 。唯有少數閱讀區因未設置桌面輔助照明，且其坐落於光源死角，或距離燈具直接照明範圍較遠，造成其照度不足 500Lux 。根據本計畫調查結果，進一步將圖書館各樓層現有照明缺失分述如下：

3.1.1 圖書館一樓現有照明缺失之檢討

圖書館一樓照明原始設計之 LPD 平均值為 $15.25\text{W}/\text{m}^2$ ，仍較本計畫目標值 $10\text{W}/\text{m}^2$ 為高。其中又以中西文參考書區之 LPD 最高，達 $17.68\text{W}/\text{m}^2$ ，次高者為行政辦公室 LPD $16.3\text{W}/\text{m}^2$ ，再次為電腦檢索區 LPD $14.96\text{W}/\text{m}^2$ ，因其照明燈具多使用 T8 日光燈管，故耗能較高。

圖 3.1 為圖書館一樓各區域 LPD 與照度之比較，可知圖書館一樓各空間現況日間平均照度為 448Lux ，其中流通櫃檯/展示空間照度 519Lux 、走道照度 $135\sim 202\text{Lux}$ 、及中西文參考書區照度 519Lux 均符合照度基準；照度不足者如辦公室 2 其照度僅有 280Lux ，因其桌面輔助照明為固定式燈具，無法調整照明區域，且部分桌面未設置輔助照明甚或損壞未修；而門廳 931Lux 則超出標準，應進一步檢討其照明減量及晝光利用之可行性。

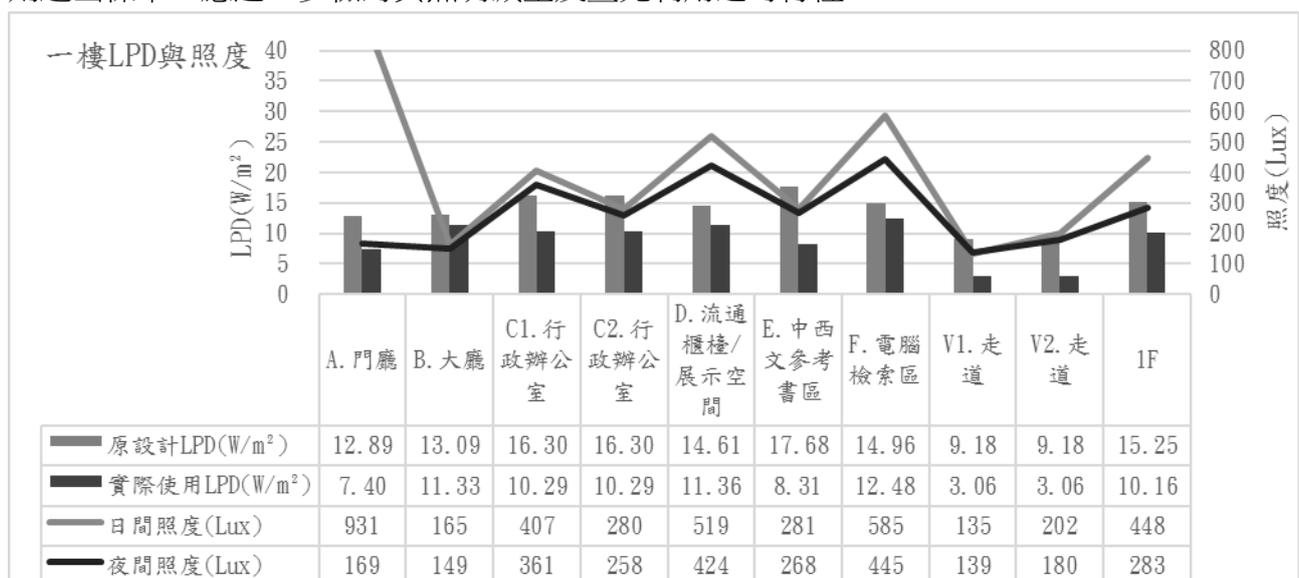


圖 3.1 圖書館一樓 LPD 與照度

3.1.2 圖書館二樓現有照明缺失之檢討

圖書館二樓照明原始設計之 LPD 平均值為 24.09W/m²，為 LPD 平均值次高之樓層，各空間 LPD 與照度如圖 3.2 所示。其中教學資源中心 LPD 高達 38.16W/m²、數位媒體實作中心 LPD35.52W/m²、資訊素養推廣室 LPD25.92W/m²，較本計畫目標值 10W/m²超出 2.5~3.8 倍，主因其使用 72W 之 T8 日光燈燈具。館方為節省電費，將部分燈具關閉未使用，但其照度仍達 469~709Lux，顯示原始設計燈具過多，故可適當減少其燈具數量。

教學資源中心部分座位距離燈具較遠且未設置桌面輔助照明，以及夾層 1 閱讀區之桌面輔助照明老舊光衰，造成閱讀時照度不足 500Lux，走道亦因為部分燈具未開而有照度不足之情形。此外，數位媒體中心外之走廊設有閱讀座位區，兩者照明為同一迴路控制，為維持座位區有足夠照度，數位媒體中心之燈具於圖書館開館期間必須全時開啟，應考慮更改其迴路。

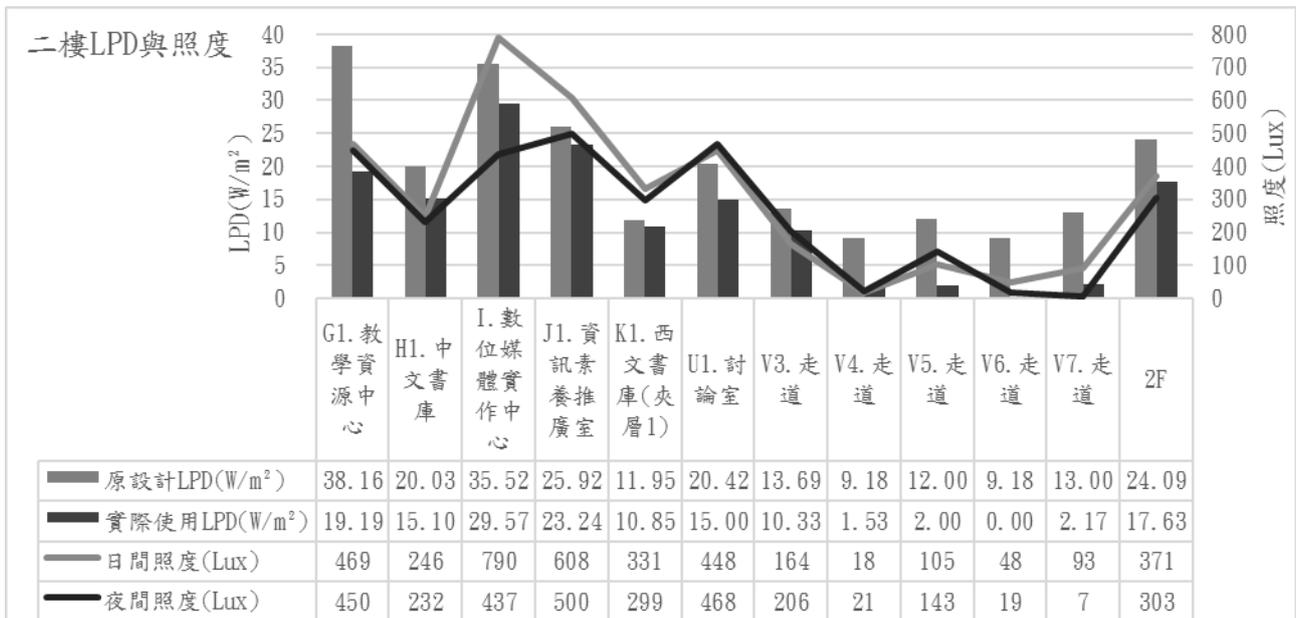


圖 3.2 圖書館二樓 LPD 與照度

3.1.3 圖書館三樓現有照明缺失之檢討

圖書館三樓各空間之 LPD 與照度如圖 3.3 所示，其原始照明設計之 LPD 平均值為 14.72 W/m²，是全館 LPD 最低之樓層，雖已低於綠建築基準值 15W/m²，但仍較本計畫目標值高出 1.5 倍。各空間 LPD 較高者為：教學資源中心 17.12W/m²、多媒體資料區 15.83W/m²、中文書庫 15.56W/m²、資訊素養推廣室 15.43 W/m²。其 LPD 值較其他樓層為低，主因中文書庫、多媒體資料區、教學資源中心、休閒閱讀區、討論室之主要照明已改為平面螢光燈，其消耗功率為 60W 及 100W 兩種，較 72W 之 T8 燈具總消耗功率降低 70.8%，顯示更換高效率燈具的確可有效降低 LPD。其次，夾層 2、3 書架區有眩光之情形，閱讀區桌面輔助照明老舊光衰導致照度不足的問題，走道亦因部分燈具未開而照度不足，有待進一步改善。

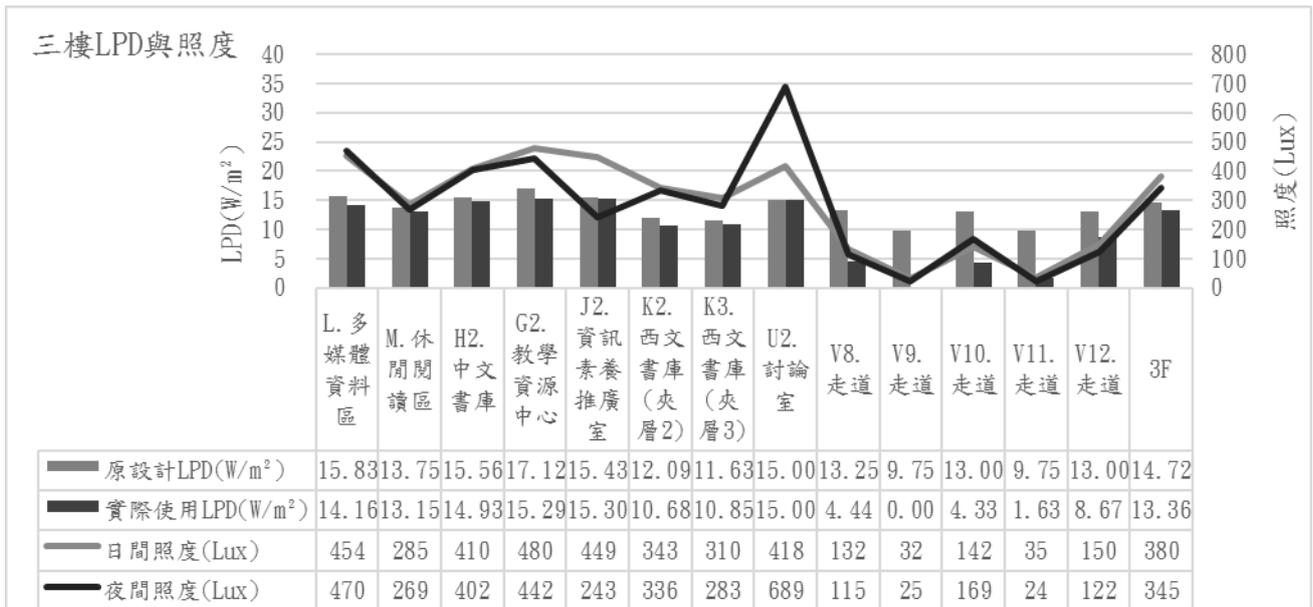


圖 3.3 圖書館三樓 LPD 與照度

3.1.4 圖書館四樓現有照明缺失之檢討

圖書館四樓 LPD 與照度如圖 3.4 所示，其照明原始設計之 LPD 平均值為 17.60W/m²，較本計畫目標值高出 1.7 倍。其中又以三間行政辦公室之 LPD 為最高，分別為 19.78W/m²、18.76W/m²、17.15W/m²，其主要照明雖已改採平面螢光燈，但公共空間與走道仍沿用舊有之 T8 燈具，導致 LPD 仍偏高。辦公室部分座位未設置桌面輔助照明，造成其照度僅 110LUX 未達閱讀需求之照度 500LUX；夾層 4 書架區之照度 190LUX，略低於需求之照度 200LUX；走道亦因部分燈具未開而有照度不足 75LUX 之情形。

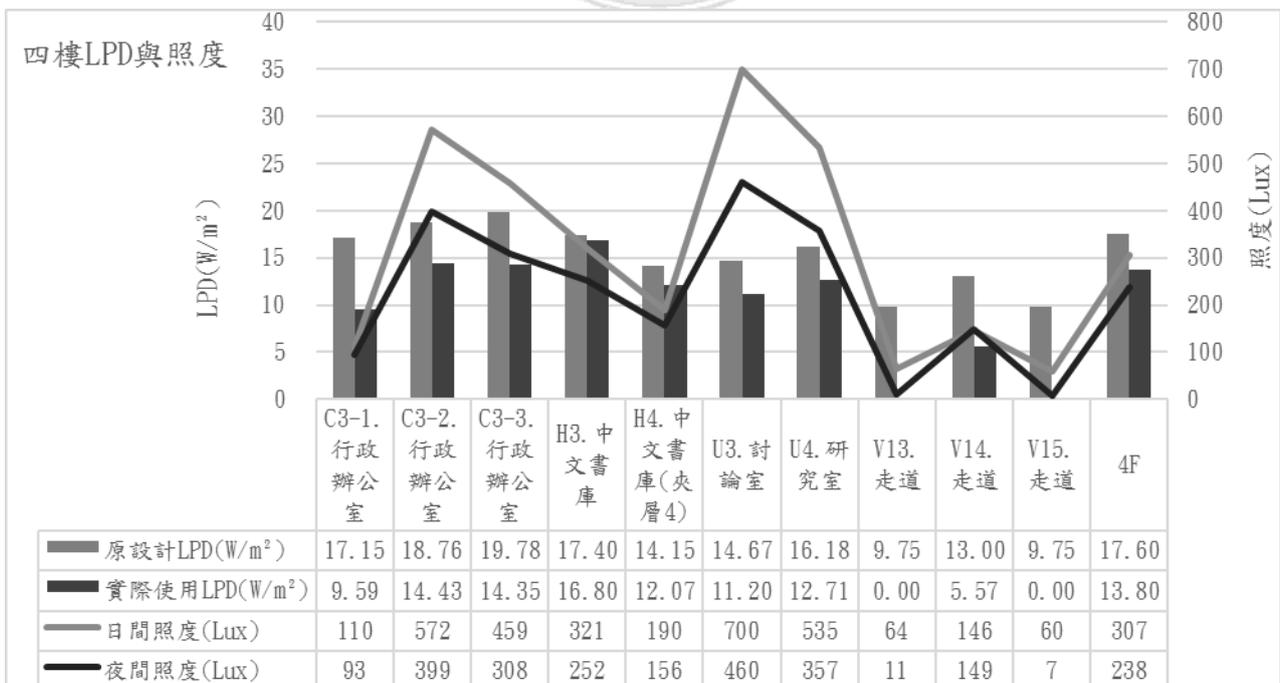


圖 3.4 圖書館四樓 LPD 與照度

3.1.5 圖書館地下一樓現有照明缺失之檢討

圖書館地下一樓原始照明設計之 LPD 平均值為 27.24W/m²，為全館 LPD 最高之樓層，主因其書架區多使用消耗功率為 72W 之 T8 日光燈。書架區之照度介於 424 至 798LUX，均遠高於本計畫標準值 200LUX，故減少其燈具數量勢在必行；閱報區及部分閱讀區座位因環境光源遭遮蔽，且桌面輔助照明老舊光衰而使閱讀照度不足 500Lux；走道亦因部分燈具未開而照度略不足 75LUX。地下一樓各空間之 LPD 與照度如圖 3.5 所示。

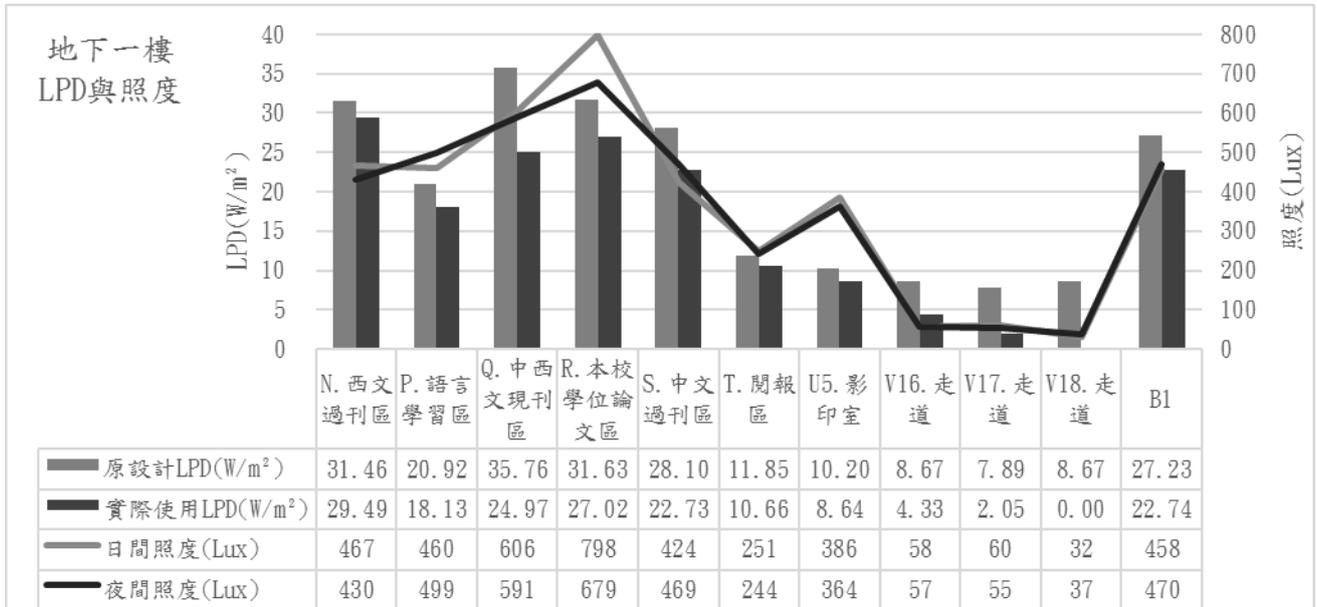


圖 3.5 圖書館地下一樓 LPD 與照度

3.1.6 圖書館現有照明缺失檢討小結

圖書館整體照明系統為二線式設計，可由燈具所在位置附近的手動開關，以及流通櫃檯內的手動遠端控制開關啟閉，亦可由四樓辦公室的中央電腦控制。但根據本計畫調查結果得知，圖書館照明系統雖具備二線式控制系統，但並未設定不同時段燈具之開啟，亦未按照使用現況設定較詳細的分區控制，僅設定所有燈具於開館期間全部開啟。若能將二線式照明控制系統充分利用，重新設定電腦控制選項，採用分時分區照明控制，定能達到智慧照明控制與節能之顯著效果。綜合前述檢討及本計畫調查結果，得知圖書館現有照明缺失如表 3.1，列舉如下：

- 一、現況燈具多採 T8 日光燈且數量過多，導致 LPD 遠高於本計畫標準值 10W/m²。
- 二、多數空間之照度均達本計畫之標準，僅部分座位距離光源較遠，且未設置桌面輔助照明，或桌面輔助照明老舊光衰而使照度下降，導致其照度不足 500Lux 影響閱讀。
- 三、夾層 1、2、3 書架區燈具無燈罩或無反射板，容易產生眩光導致不適。
- 四、未考量晝光利用，故未採用晝光感知器及可調光之燈具。
- 五、未能善加利用二線式控制系統，亦未擬定適合之分時分區照明控制計畫。

表 3.1 圖書館現有照明缺失

功能類型	問題區域	照明系統缺失
公共空間	1F 門廳、大廳	原設計 LPD 13.05(W/m ²)，因舊型燈具功率較高
辦公服務區	1F 辦公室、流通櫃檯/展示空間、4F 辦公室	雖均已換 EEFL 平面燈，但外圍 T8 裝飾燈還是過多造成 LPD 還是達 17.66(W/m ²)，辦公區空間滿足 200(Lux)，但桌面照度不足 500(Lux)，因桌燈有些桌面無桌燈或損壞且為固定式使用不方便
一般書庫	後棟 1F、2F、3F、4F、B1	原設計 LPD 23.36(W/m ²)，因多使用 T8 日光燈，且地下室使用雙燈。
夾層書庫	夾層 1~夾層 4	燈具無燈罩反射板，產生刺眼眩光，夾層 4 燈管光衰夜間照度不足。
窗邊閱讀區	1F 後棟南側	有些桌面固定式桌燈因光衰而使照度不足。 部分天井旁或窗戶旁座位無桌燈
夾層閱讀區	夾層 2、3	桌燈燈管光衰使夜間照度不足
綜合使用區	2F 樓教學資源中心 3F 教學資源中心、 資訊素養推廣室 B1 語言學習區	原設計 LPD 23.39(W/m ²)，因多使用 T8 日光燈雙燈。 部分閱讀桌面無桌燈照度不足
電腦使用區	1F 電腦檢索區 2F 多媒體實作中心、 資訊素養推廣室 3F 視聽資料中心	原設計 LPD 21.65(W/m ²)，因多使用 T8 日光燈，電腦檢索區和視聽資料中心雖改成 EEFL 平面燈，但外圍 T8 裝飾燈還是過多，多媒體實作中心與資訊素養推廣室使用雙燈，多媒體實作中心僅走廊照明卻須將燈全開。
研討空間	2F~4F 討論室 4F 研究室	原設計 LPD 16.22(W/m ²)，無桌燈夜間照度不足
走道空間	各樓層走道	部分燈具未開照度不足

3.2 圖書館照明節能改善策略

綜合上述圖書館照明缺失搭配常見照明節能改善手法，提出三種照明系統改善策略，首先要降低照明功率密度 LPD，應使用高效率燈具及燈具減量，再來搭配提高晝光利用率，可以減少日間人工光源使用時間，搭配運用智慧照明節能控制開關，隨著環境變化做出相應燈具調控，就可以達到節能目標，策略敘述如下：

3.2.1 高效率照明燈具及照明減量設計

使用高效率照明燈具取代原本效率差的燈具，即可用較少的燈具數量就達到原本相同的照度，或是雖然照度降低一些但還是高於標準，可以達到燈具減量的效果，此方法建議將 T8 日光燈管改換為 LED 燈、T5 日光燈與 EEFL 平面螢光燈三種方案：

1. 方案一：延用現有 T8 燈具，T8 日光燈管更換為 LED 燈管。

目前圖書館使用之燈具大多為 2001 年改建時配置，數量最多的是傳統 T8 日光燈管，數量超過 3500 支，若是以不更換 T8 燈具考量，將光源更換為 LED 燈管(4 呎傳統日光燈 36W 更換為 4 呎 LED 20W，2 呎傳統日光燈 20W 更換為 2 呎 LED 10W)，則 LPD 可以大幅降低約 37%，且 LED 燈之光衰較傳統燈管少一半以上，壽命為傳統燈管 3.5 倍，因此以 T8 傳統燈管更換 LED 光源即可達到很好的節能及改善照明效果，若是再配合原本 T8 雙燈改為單燈，T5 燈具一併更換 LED(4 呎日光燈 28W 更換 LED 16W，2 呎日光燈 14W 更換 LED 8W)，則 LPD 可降低達 47%，唯 LED 有藍光危害的疑慮，建議選擇有低藍光認證或低色溫的產品。

2. 方案二：全面更換為燈具為 T5 日光燈具。

近期有些 T8 燈具老舊損壞後(雙燈或單燈)，已直接更新為 T5 燈具(單燈)，若是將剩餘 T8 傳統燈管全面換裝 T5 燈管，即可獲得 LPD 改善約 32%，優點為燈具型式較統一，且燈管數量減少(雙燈變單燈)，唯需將燈座換為 T5 系統或加裝轉接頭才能使用，因此所需支付的成本也相對較高。

3. 方案三：主要區域更換為 EEFL 平面螢光燈，附屬區域更換 T5 日光燈或 LED 燈管。

因 2012 年開始，已有許多空間陸續改換 EEFL 平面螢光燈，若將剩下未改的分區，按照現行模式大空間更換平面螢光燈(比照 1F、3F、4F 現況)，其餘部份 T8 日光燈改換 T5 日光燈，LPD 可節省約 37%，若是改用平面螢光燈搭配 LED 光源則可降低 LPD 達 45%。三種方案優缺點比較如表 3.2 所示。

表 3.2 使用高效率照明燈具及燈具減量方案比較

	方案一：更換 T8 LED 燈管	方案二：更換 T5 日光燈	方案三：更換平面螢光燈
壽命	LED 約 30000 小時	T5 燈管約 20000 小時	EEFL 約 20000 小時

優點	LPD 降低 37%~47% 免換燈具省成本	LPD 降低 32% 燈管較便宜、燈具統一	LPD 降低 37%~45% 已有部分更換、燈具統一
缺點	燈管較傳統貴 有藍光危害疑慮	需增加換燈具成本	需增加換燈具成本

3.2.2 晝光感知調光節能系統

太陽發出的自然光是地球上的最佳光源，而且零成本，所有人工光源都是以更接近自然光為目標開發，因此若能直接利用自然光當然是最理想的，但因建築物的牆面梁柱等不透光結構，擋住大部分晝光，常使白天在室內也必須使用電燈才有足夠照度，若能將更多晝光引進室內照明，就可以節省人工光源的使用，進而達到環保節目的目的，提高進入室內晝光量的方法大致為下列三種類型。

1. 導光板：

因為光線具有反射的特性，使用高反射率的材料製作可改變晝光方向之產品稱為導光板，導光板可以設計成各種不同的形式裝於建築外牆或室內，一般將窗戶分為導光區和遮陽及視覺景觀區，導光組件把導光區的日光(漫射光)反射至室內較深處天花板，增加室內照度和均齊度以節省人工光源，依結構類型可分為導光板和系統天花板。導光板裝置於高窗下緣內或外，如圖 3.6 所示，利用高反射率表面和設定角度將光反射到室內深處，同時具部分遮陽(熱)和防眩光效果，可設計為固定式或可調角度式(手動或搭配電動自動調整)。另一種方式為系統天花板，由擷取日光反射板搭配天花板反光通道，將光線導引至尾端曲面反射板擴散到所需區域，如圖 3.7 所示。



圖 3.6 導光板

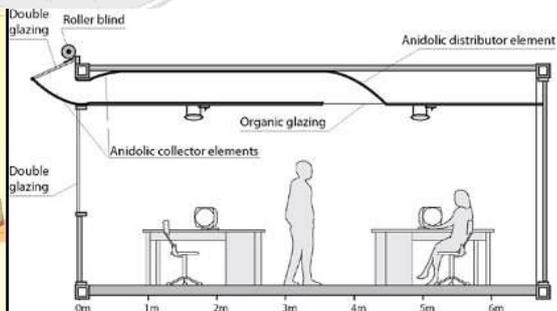


圖 3.7 導光系統天花板

2. 導光管及光纖：

透過開口於建築物外部的光導管，將晝光光線多次反射倒入室內，是一種無電照明系統，有多種不同設計，一般由採光(集光)、導光(傳光)、漫射(放光)三個裝置組成，充分利用照射屋頂或牆面的太陽光，適合暗房或地下室使用。前端的採光罩(板)捕捉太陽光，可使光線折射或反射進入導光裝置，還可搭配追日裝置(太陽能供電)增加捕光效率。導光裝置分為管道傳輸和光纖傳輸，如圖 3.8、3.9 所示，讓光線在其中反射前進，並可隨需求轉彎，高反射率表面讓傳輸長度可達 20M。光纖優點為體積小、光損耗低，缺點為造價較高、為點光源，管道優點為造價便宜、照射面積大，缺點為體積大需考慮建築結構。漫射裝置接在管道尾端將日光均勻

散佈於室內，可搭配自動控制 LED 照明補光(太陽能儲電)。

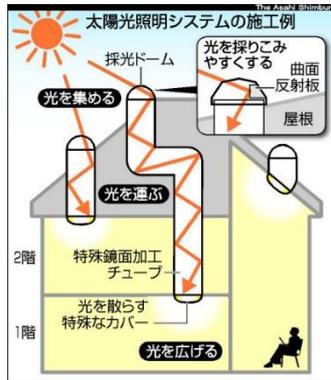


圖 3.8 導光管

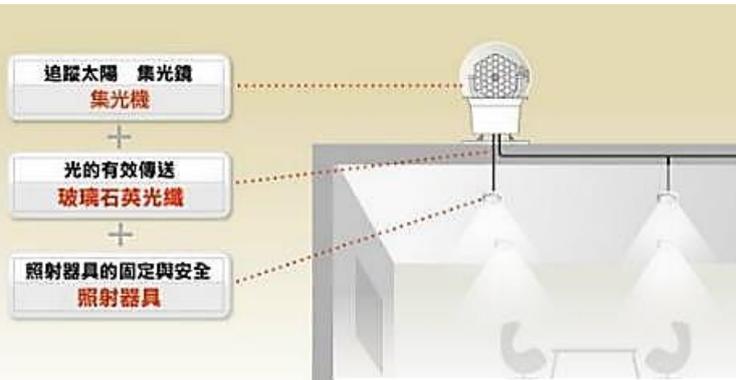


圖 3.9 導光光纖

3. 導光玻璃及導光百葉窗簾：

導光玻璃是將建築物外周區的自然光折(反)射到室內較深處的天花板，如圖 3.10 所示，與導光板原理相似，為氧化鎢奈米紅外線吸收膠合玻璃與導光膜之組成的複層玻璃，導光膜相當於非常微小的導光板，使通過玻璃的光線折射到天花板。導光玻璃的優點可減少外周區陽光直射，增加舒適度，天花板反射光線深度可達 9M，增加晝光利用節省人工光源。並且節能玻璃可濾掉太陽光中大部分的紅外線和紫外線，僅讓可見光進入室內，降低建築物吸收熱，節省空調耗能。另外一種與導光玻璃原理相同的是導光百葉窗簾，如圖 3.11 所示，窗邊光線遇到百葉窗往上反射到天花板，可以設計成上半部導光，下半部遮光的效果，並可配合日照調整導光角度。

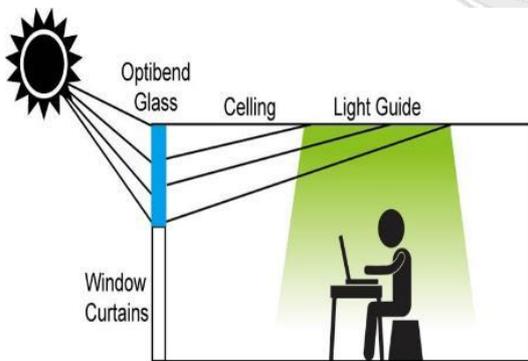


圖 3.10 導光玻璃



圖 3.11 導光百葉窗

另外上述三種晝光利用技術，可搭配「增加室內高反射材料」使效果提升，不管是由導管引入室外自然光，或是將外周區較高處的晝光反射、折射到天花板，經由較深處的天花板再一次反射到室內各處或桌面做為照明使用，其天花板或室內牆面反射的光量也是很重要的，反射率越好的材料可以反射越多的光而不致損失，讓引進的晝光充分利用，因此室內裝潢時選用高反射之材料亦能增加晝光利用率。

利用上述引進晝光的方法，搭配自動照明控制燈具的點滅與調光、配合偵測元件自動調控、時程設定、晝光調節、流明衰減調節及電力需量控制等。照明控制方法，因工作場所之不同而有所差異，大致上常用的控制方式如下列五種。

1. 採用手控開關及調光器：

簡單且使用方便，燈具的開關包括個別開關及群組開關，還可結合預設控制系統作為調光與場景開關，或結合定時器的定時開關，唯控制迴路不應過多以避免混淆，操控面板須加以標示。

2. 時序控制器：

可依預定的時間自動對照明環境需求作模式切換，或燈具的明滅控制，不須手動操作控制，可避免因忘記關燈而浪費電能。例如：上班、下班、午休時段、招牌、騎樓、停車場、戶外夜間景觀及自動啟閉照明燈具。時程控制功能以時間為基礎，可根據預定計劃的安排自動開啟、熄滅或調整既定區域的照明設施，特別適合每日按例行時程進行事務的空間應用。照明系統的控制亦可經由時程設定轉交給不同的控制裝置，依不同時段混合使用上、下班開關控制、晝光調節以及尖峰時段的電力需量控制。可分為預定時程：利用定時開關依照既定時程自動開啟或關閉所有燈具，非預定時程：可藉使用移動感應器(紅外線或超音波)加上定時開關，自動調暗或關掉未使用區域之燈具(開放空間以調暗為宜)。

3. 晝光感知器或附亮度偵測器：

當屋外晝光充足明亮時，可自動啟閉照明或調降靠窗燈具的亮度或直接關閉燈具，因此其電路設計需採平行靠窗方向來配置，適合於辦公場所及商場靠窗側燈具、靠窗走廊、採光井、騎樓、夜間室外景觀燈等之自動控制啟閉。晝光調節系統主要應用於建築內週邊臨窗區域，其藉分置各點或燈具內置的晝光感知器，依據晝光供給程度由窗邊往內等比例調整輸出光量，以減少無謂的能源浪費。一般光度調整為 25%~100%或熄燈，此調節係逐漸進行，因此不會干擾使用者，並有遲緩設計，以免因一時之烏雲遮日而頻頻過度靈敏性調整，如圖 3.12 所示。



圖 3.12 晝光感知器燈具控制器

3.2.3 智慧化分時分區照明控制系統

整體群控式照明控制系統又可稱為照明中央監控系統、二線式照明控制系統等，可機動配合作息變動需求，達到智慧化分時分區監控管理，可節約照明用電 30%以上。二線式系統係指燈具除了供應電源的電力線之外，另外應用二條訊號線串聯所有的控制開關與控制單元，在進行啟閉或調光控制時，控制開關的訊號由二線式系統傳到控制單元，進行實際的啟閉或調光控

制。各家系統的構成及功能差異很大，大致上可提供群組開關、模式開關、調光等控制的功能，及配合紅外線感知器、晝光感知器、定時開關、無線遙控器等進行多種不同的特殊應用；同時也是目前照明自動化控制系統的主要方式，電源經過繼電器後分別連接各個照明分路的燈具，控制開關由二線式系統連接到控制單元；控制單元再操作繼電器的動作。此系統容許多回路同時控制，所有開關及回路均可重新安排組合，由其控制面板設定、記憶及修改，並以個別按鍵切換不同照明設定，亦可使用無線遙控器操控，可免除傳統式須安裝許多個別開關及調光器的不便。



3.3 圖書館現況照明缺失改善建議

根據前述圖書館各樓層現況照明缺失，可知目前圖書館照明多為 LPD 過高但照度足夠之情形，因此更換高效率照明光源或燈具，即可有效降低現況 LPD 過高之情形，例如將 T8 日光燈管更換為發光效率較佳之 T5 日光燈管或 T8 型 LED 燈管，或將緊湊型螢光燈管之嵌燈更換為 LED 光源。

除更換高效率照明光源或燈具外，燈具減量亦為降低 LPD 可行性做法之一。但進行燈具減量設計時，仍須使各空間照度達到其基準值：大廳及走道 75LUX、書架及服務空間 200LUX、及閱讀區 300LUX 並搭配桌面輔助照明，以符合使用者之需求。

本計畫使用光通量計算法 (Flux method) 進行燈具減量設計 (如式 1)，其計算基準為：假設各空間皆為均佈照明 (燈具等間距配置)，以室內工作面平均照度基準，代入欲採用燈具之光通量，即可得出其燈具需求數量。

$$N = \frac{E \times A}{F \times U \times M} \quad (\text{式 1})$$

N：燈具數量

E：環境內所要求之平均(全般)照度，單位為 Lux

A：室內面積，長×寬，單位為 m²

F：選用燈具之初始光通量，單位：lm

M：維護率(一段時間後光通量損失係數)，有時表示為 ϕ ，單位為%

U：照明利用率(受環境因素影響的照明利用係數)，單位為%

依上式進行燈具減量設計時，本計畫採天花板設置均佈照明，並搭配桌面輔助照明之原則。各空間作業面照度則依其使用性質不同，分別設定為走道區 75LUX、書架區 200Lux、及閱讀區 300LUX，有閱讀需求之座位則使用桌面輔助照明提高其桌面照度至 500LUX，如此即可在進行燈具減量設計時兼具各區域均得到應有的照度。

參考相關文獻後，本計畫將維護率 M 及照明利用率均以 0.8 代入計算，選用燈具之光通量 F 則參考圖書館現有之東亞照明燈具之光通量：120 公分長 T5 日光燈光通量 2600lm、60 公分長 T5 日光燈光通量 1350lm、120 公分長 T8 型 LED 燈管光通量 1600lm、LED 嵌燈光通量 720lm。此外因 LED 燈有藍光危害之疑慮，故將 LED 燈設在一般區域及書架區域照明，而有長時間閱讀需求之位置則使用 T5 日光燈。計算出結果後再依此燈具數量，使用照明模擬軟體 DIALux 驗證，繪製各樓層模型及燈具數量，模擬其照度是否滿足使用需求。

若欲進一步降低圖書館照明用電量，除使用高效率照明燈具及燈具減量設計外，若能搭配晝光感知器及調光節能系統，或利用既有之二線式照明控制系統，擬定智慧化分時分區照明控制計畫，即可達到節能之目的。綜合本計畫調查所得之缺失，並考量改善方法之可行性後，針對圖書館照明缺失建議可採下列方式進行改善：

- 一、不減少燈具數量，更換高效率光源與燈具。
- 二、考量各空間照度需求後進行燈具減量設計。
- 三、採用晝光感知器，並使用可自動調光之燈具。

四、擬定智慧化分時分區照明控制計畫，或採用自動感知控制。



3.3.1 圖書館一樓照明缺失改善建議

圖書館一樓照明原始設計之 LPD 為 15.25W/m²，若將其更換高效率光源與燈具，LPD 即可降至 10.92W/m²，節能 28.4%，但仍高出本計畫之目標值 10W/m²。若進行燈具減量設計，則其 LPD 可降為 6.47W/m²，較原設計值節能 57.6%，且符合本計畫之目標。其中 LPD 最高之中西文參考書區由 17.9W/m²降為 5.66W/m²，較原設計值節能 68%。各區域照明改善前後之 LPD 值如表 3.3 所示。進行燈具減量設計後，為得知減量設計之照度是否符合空間需求，本計畫以 DIALux 進行照明模擬，得出圖書館一樓照明之等照度分布圖如圖 3.13，可知進行燈具減量設計後，仍可滿足各空間之照度需求。

表 3.3 圖書館一樓照明改善前後 LPD 之比較

樓層	空間名稱	不同照明設計之 LPD (單位 W/m ²)			
		原始設計	使用現況	更換高效率燈具	燈具減量設計
一樓	門廳	12.89	7.40	5.51	4.27 (-66.9%)
	大廳	13.09	11.33	6.84	3.70 (-71.7%)
	行政辦公室	16.30	10.29	15.43	10.33 (-36.6%)
	流通櫃檯/展示空間	14.61	11.36	12.99	8.56 (-41.4%)
	中西文參考書區	17.68	8.31	11.05	5.66 (-68.0%)
	電腦檢索區	14.96	12.48	13.63	8.25 (-44.9%)
	走道	9.18	3.06	3.53	2.35 (-74.4%)
一樓 LPD 平均值		15.25	10.16	10.92	6.47 (-57.6%)

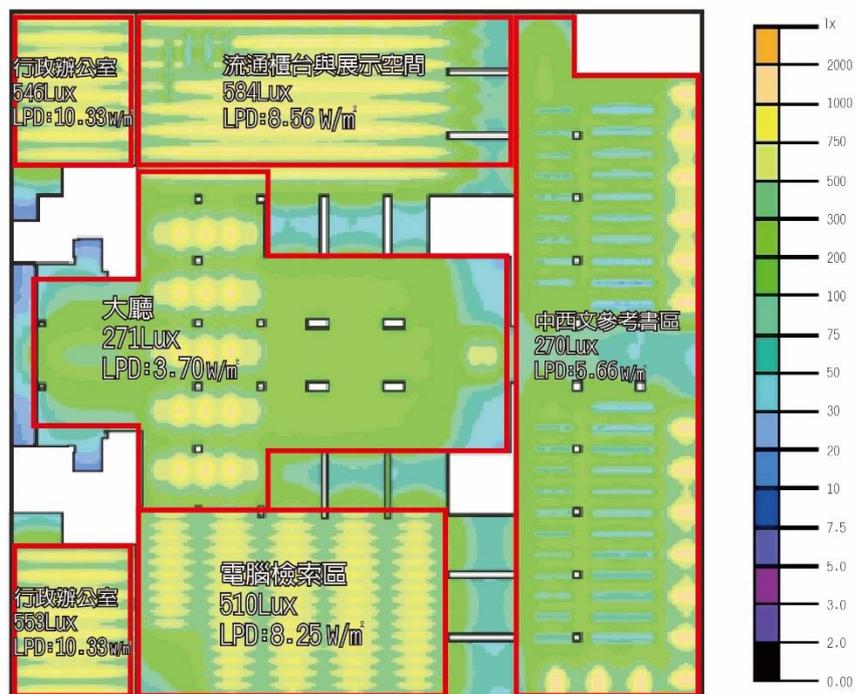
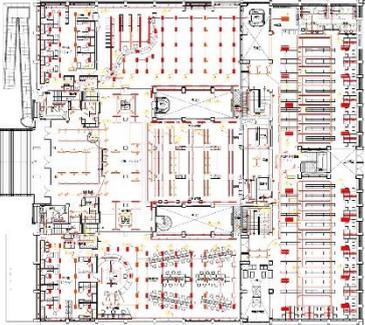


圖 3.13 圖書館一樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖

此外，燈具減量設計後之節能效益如表 3.4，可知光通量計算法進行燈具減量設計，可在維持足夠照度之前提下，使用高效率燈具有效降低照明用電密度，圖書館一樓進行照明改善後，其照明總消耗功率可由 28,562W 降低至 12,122W，節能效益達 57.6%。

表 3.4 圖書館一樓照明改善前後之比較

改善前後差異說明	原始設計	燈具減量設計
燈具配置		
燈具總數量	716 盞	540 盞
主要燈具型式及數量	T8 日光燈 36W 共 360 盞	T8-LED 燈 18W 共 120 盞
	平面螢光燈 60W 共 122 盞	T8-LED 燈 36W 共 24 盞
	平面螢光燈 100W 共 19 盞	T5 日光燈 28W 共 258 盞
總消耗功率	28,562W	12,122W
LPD	15.25W/m ²	6.47W/m ²
夜間平均照度	283LUX	357 LUX
節能效益	-----	57.6%

3.3.2 圖書館二樓照明缺失改善建議

圖書館二樓照明原始設計之 LPD 為 24.09W/m²，若將其更換高效率光源與燈具，LPD 雖可降為 17.71W/m²，仍較本計畫之目標值 10W/m² 高出 1.77 倍。若進行燈具減量設計，則其 LPD 可降為 7.43W/m²，較原設計值節能 69.2%，且符合本計畫之目標。其中 LPD 最高之中西文參考書區由 17.9W/m² 降為 5.66W/m²，較原設計值節能 68%。各區域照明改善前後之 LPD 值如表 3.5 所示。

圖書館二樓照明改善效益最佳之空間為教學資源中心，其燈具原始設計之 LPD 為 38.16W/m²，若僅更換高效率燈具，LPD 略降為 37.48W/m²，但進行燈具減量設計後，其 LPD 驟降為 10.33W/m²，減量效益達 72.9%，雖仍略超出本計畫目標值，但燈具減量設計後二樓整層之 LPD 可降至 7.43 W/m²，仍符合本計畫目標。

表 3.5 圖書館二樓照明改善前後 LPD 之比較

樓層	空間名稱	不同照明設計之 LPD (單位 W/m ²)			
		原始設計	使用現況	更換高效率燈具	燈具減量設計
二樓	教學資源中心	38.16	19.19	37.48	10.33 (-72.9%)
	中文書庫	20.03	15.10	11.97	6.43 (-67.9%)
	數位媒體中心	35.52	29.57	27.17	8.58 (-65.8%)
	資訊推廣教室	25.92	23.24	15.32	9.11 (-64.9%)
	夾層 1 書庫	11.95	10.85	9.25	5.69 (-52.4%)
	討論室	20.42	15.00	17.08	9.33 (-54.3%)
	走道	11.76	4.74	4.97	4.55 (-61.3%)
二樓 LPD 平均值		24.09	17.63	17.71	7.43 (-69.2%)

進行燈具減量設計後，其燈具配置與原始設計之燈具配置比較如表 3.5。為得知減量設計之照度是否符合空間需求，本計畫以 DIALux 進行照明模擬，得出圖書館一樓照明之等照度分布圖如圖 3.14，可知進行燈具減量設計後，仍可滿足各空間之照度需求。

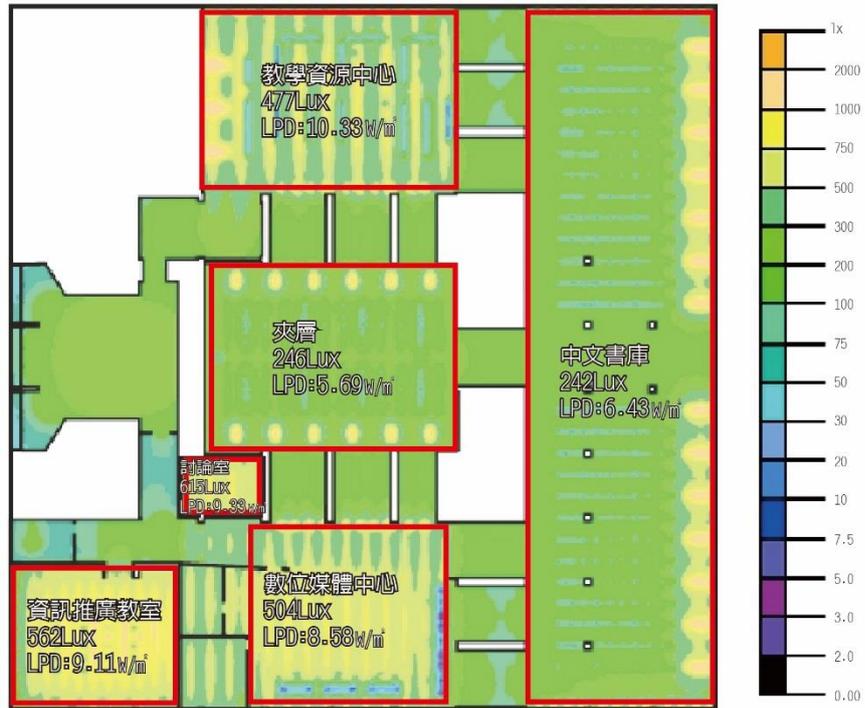


圖 3.14 圖書館二樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖

圖書館二樓照明原始設計採用 T8 燈具及平面螢光燈，其 LPD 為 24.09W/m²，若將其更換高效率光源與燈具並進行減量設計，其 LPD 可降至 7.43W/m²，照明總消耗功率亦由 38,285W 降低為 11,809W，節能效益達 69.2%，圖書館二樓照明改善前後差異說明如表 3.6 所示。

表 3.6 圖書館二樓照明改善前後之比較

改善前後差異說明	原始設計	燈具減量設計
燈具配置		
燈具總數量	906 盞	571 盞
燈具型式	T8 日光燈 36W 共 458 盞	T8-LED 燈 18W 共 150 盞
	T8 日光燈 72W 共 223 盞	T5 日光燈 28W 共 196 盞
	平面螢光燈 60W 共 6 盞	-----
總消耗功率	38,285W	11,809 W
LPD	24.09W/m ²	7.43W/m ²
夜間平均照度	303 LUX	316 LUX
節能效益	-----	69.2%

3.3.3 圖書館三樓照明缺失改善建議

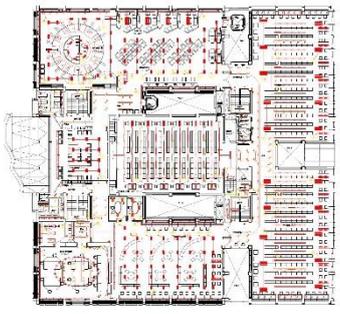
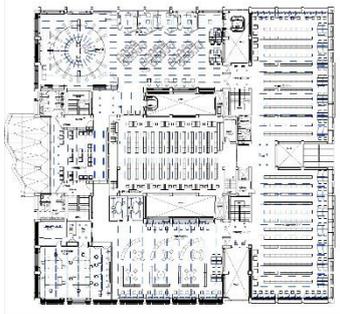
圖書館三樓照明原始設計之 LPD 為 14.72W/m²，已低於綠建築標準值 15 W/m²，若將其更換高效率光源與燈具，LPD 即可降至 13.36W/m²，但仍高於本計畫之目標值 10W/m²。若進行燈具減量設計，則其 LPD 可降為 7.15W/m²，較原設計值節能 51.4%，且符合本計畫之目標。其中 LPD 最高之多媒體資料區由 15.83W/m²降為 8.66W/m²，較原設計值節能 45.3%；節能效益最佳之中文書庫則由 15.56W/m²降為 6.45W/m²，較原設計值節能 58.5%，各區域照明改善前後之 LPD 值如表 3.7 所示。

表 3.7 圖書館三樓照明改善前後 LPD 之比較

樓層	空間名稱	不同照明設計之 LPD (單位 W/m ²)			
		原始設計	使用現況	更換高效率燈具	燈具減量設計
三樓	多媒體資料區	15.83	14.16	12.46	8.66 (-45.3%)
	休閒閱讀區	13.75	13.15	11.82	8.25 (-40.0%)
	中文書庫	15.56	14.93	10.72	6.45 (-58.5%)
	教學資源中心	17.12	15.29	16.56	9.42 (-45.0%)
	資訊推廣教室	15.43	15.30	11.50	7.88 (-48.9%)
	夾層 2	12.09	10.68	6.77	5.37 (-55.6%)
	夾層 3	11.63	10.85	7.33	5.37 (-53.8%)
	討論室	15.00	15.00	15.00	9.33 (-37.8%)
	走道	11.97	3.72	5.09	5.09 (-57.5%)
三樓 LPD 平均值		14.72	13.36	10.85	7.15 (-51.4%)

圖書館三樓照明改善前後差異說明如表 3.8 所示。進行燈具減量設計後，其照明總消耗功率由 30,521W 降低為 14,832W，節能效益達 51.4%。為得知減量設計之照度是否符合空間需求，本計畫以 DIALux 進行照明模擬，得出圖書館一樓照明之等照度分布圖如圖 3.15，可知進行燈具減量設計後，仍可滿足各空間之照度需求。

表 3.8 圖書館三樓照明改善前後之比較

改善前後差異說明	原始設計	燈具減量設計
燈具配置		
燈具總數量	857 盞	721 盞

燈具型式	T8 日光燈 72W 共 414 盞	T8-LED 燈 18W 共 168 盞
	平面螢光燈 60W 共 122 盞	T5 日光燈 14W 共 258 盞
	平面螢光燈 100W 共 19 盞	-----
總消耗功率	30,521 W	14,832 W
LPD	14.72 W/m ²	7.15 W/m ²
夜間平均照度	345LUX	314LUX
節能比率	-----	51.40%

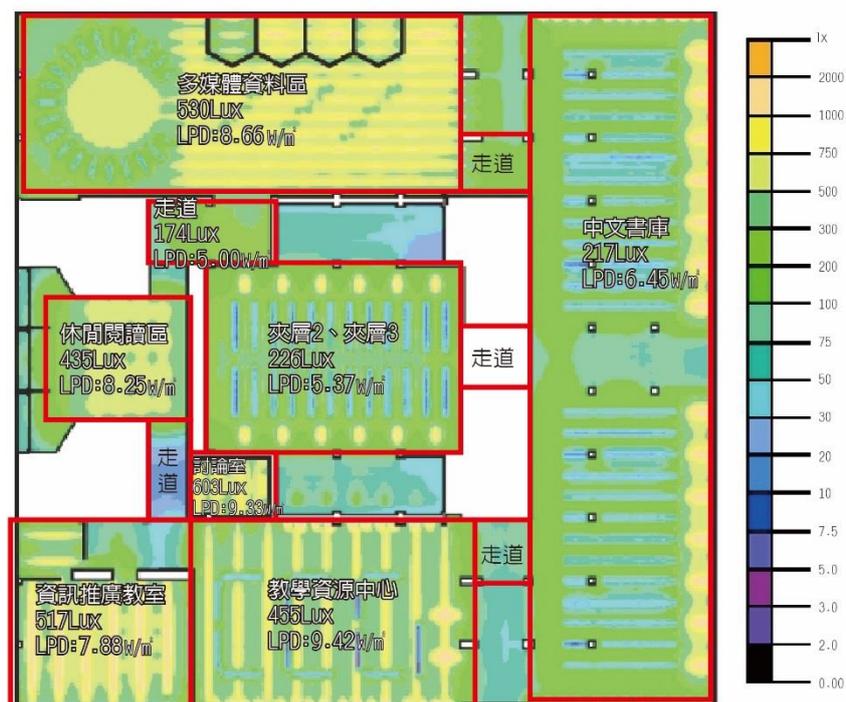


圖 3.15 圖書館三樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖

3.3.4 圖書館四樓照明缺失改善建議

圖書館四樓照明原始設計之 LPD 為 $17.6\text{W}/\text{m}^2$ ，但使用現況之 LPD 僅 $13.8\text{W}/\text{m}^2$ ，已符合綠建築標準值 $10\text{W}/\text{m}^2$ ，且照度均可符合使用需求，顯示其照明原始設計耗能過高。若將其更換高效率光源與燈具，LPD 僅略降至 $13.48\text{W}/\text{m}^2$ ，與使用現況接近，顯示其應考量減少燈具數量之可行性。

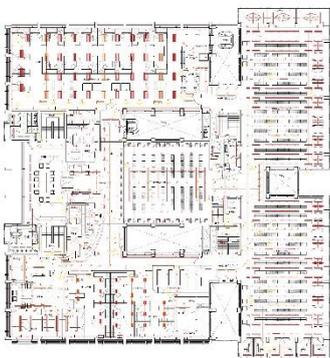
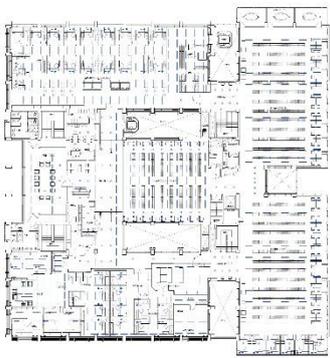
經本計畫以光通量法進行燈具減量設計，圖書館四樓整體之 LPD 可降為 $7.28\text{W}/\text{m}^2$ ，較原設計值節能 58.6%，且符合本計畫之目標。其中 LPD 最高之行政辦公室 C3-3 由 $19.78\text{W}/\text{m}^2$ 降為 $8.39\text{W}/\text{m}^2$ ，較原設計值節能 57.6%；節能效益最佳者為中文書庫，其 LPD 由 $17.4\text{W}/\text{m}^2$ 降為 $5.36\text{W}/\text{m}^2$ ，較原設計值節能 69.2%。

圖書館四樓各區域照明改善前後之 LPD 值如表 3.9 所示。進行燈具減量設計後，其燈具配置與原始設計之燈具配置比較如表 3.10。為得知減量設計之照度是否符合空間需求，本計畫以 DIALux 進行照明模擬，得出圖書館一樓照明之等照度分布圖如圖 3.16，可知進行燈具減量設計後，仍可滿足各空間之照度需求。

表 3.9 圖書館四樓照明改善前後 LPD 之比較

樓層	空間名稱	不同照明設計之 LPD (單位 W/m^2)			
		原始設計	使用現況	更換高效率燈具	燈具減量設計
四樓	行政辦公室 C3-1	17.15	9.59	9.11	5.95 (-65.3%)
	行政辦公室 C3-2	18.76	14.43	17.90	8.88 (-52.7%)
	行政辦公室 C3-3	19.78	14.35	17.10	8.39 (-57.6%)
	中文書庫	17.40	16.80	10.82	5.36 (-69.2%)
	夾層 4	14.15	12.07	10.24	8.01 (-43.4%)
	討論室	14.67	11.20	9.73	10.04 (-31.6%)
	研究室	16.18	12.71	14.58	13.64 (-15.7%)
	走道	10.74	1.70	4.13	5.22 (-51.4%)
四樓 LPD 平均值		17.60	13.80	13.12	7.28 (-58.6%)

表 3.10 圖書館四樓照明改善前後之比較

改善前後差異說明	原始設計	燈具減量設計
燈具配置		
燈具總數量	995 盞	744 盞 (-35.6%)
燈具型式	T8 日光燈 36W 共 473 盞	T8-LED 燈 18W 共 280 盞
	T8 日光燈 72W 共 50 盞	T5 日光燈 28W 共 212 盞
	平面螢光燈 60W 共 26 盞	-----
	平面螢光燈 100W 共 44 盞	-----
總消耗功率	35,568 W	14,722 W
LPD	17.6 W/m ²	7.28 W/m ²
夜間平均照度	238LUX	335LUX
節能比率	-----	58.6%

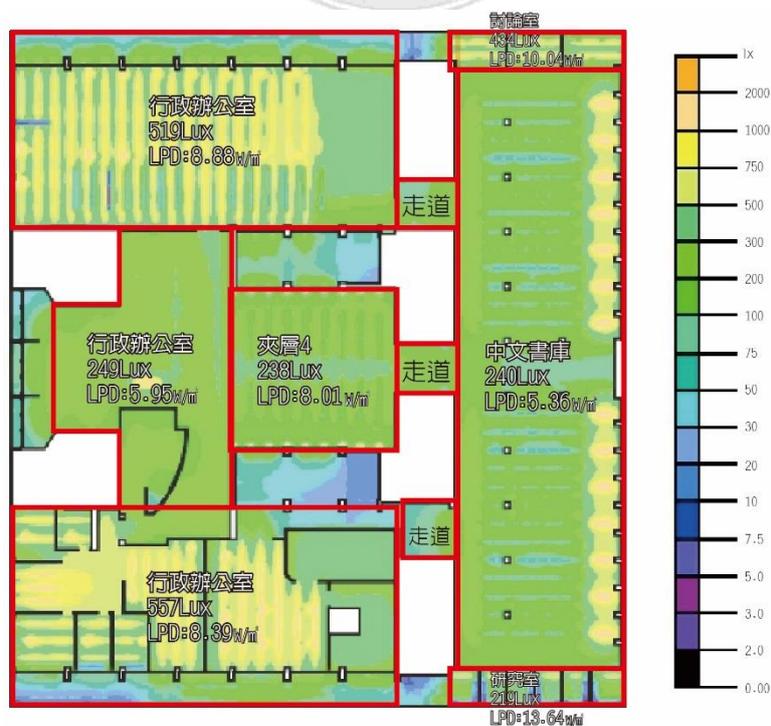


圖 3.16 圖書館四樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖

3.3.5 圖書館地下一樓照明缺失改善建議

圖書館地下一樓照明原始設計之 LPD 為 27.24W/m²，為圖書館 LPD 最高之樓層。若將其更換高效率光源與燈具，LPD 雖可降為 20.27W/m²，仍較本計畫之目標值 10W/m² 高出 2.03 倍。若進行燈具減量設計，則其 LPD 可降為 7.06W/m²，較原設計值節能 74.1%，且符合本計畫之目標。其中 LPD 最高之中西文現刊區由 35.76W/m² 降為 7.00W/m²，較原設計值節能 80.4%；其次西文過刊區、學位論文區、中文過刊區之改善效益亦均高於 74%，顯示圖書館地下一樓照明亟需改善已達到節能省碳之目的，各區域照明改善前後之 LPD 值如表 3.11 所示。

表 3.11 圖書館地下一樓照明改善前後 LPD 之比較

樓層	空間名稱	不同照明設計之 LPD (單位 W/m ²)			
		原始設計	使用現況	更換高效率燈具	燈具減量設計
地下一樓	西文過刊區	31.50	29.53	23.42	6.56 (-79.2%)
	語言學習區	20.92	18.13	17.30	7.55 (-63.9%)
	中西文現刊區	35.76	24.97	26.63	7.00 (-80.4%)
	學位論文區	31.63	27.02	22.96	7.15 (-77.4%)
	中文過刊區	28.10	22.73	20.91	7.32 (-74.0%)
	閱報區	11.85	10.66	8.94	7.41 (-37.5%)
	影印室	10.20	8.64	7.92	6.96 (-31.8%)
	走道	8.27	2.11	2.43	6.81 (-17.7%)
地下一樓 LPD 平均值		27.24	22.75	20.27	7.06 (-74.1%)

進行燈具減量設計後，其燈具配置與原始設計之燈具配置比較如表 3.12。為得知本計畫以光通量法進行燈具減量設計之照度是否符合空間需求，本計畫以 DIALux 進行照明模擬，得出圖書館一樓照明之等照度分布圖如圖 3.17，其改善前後之比較如表 3.12，可知進行燈具減量設計後，仍可滿足各空間之照度需求。

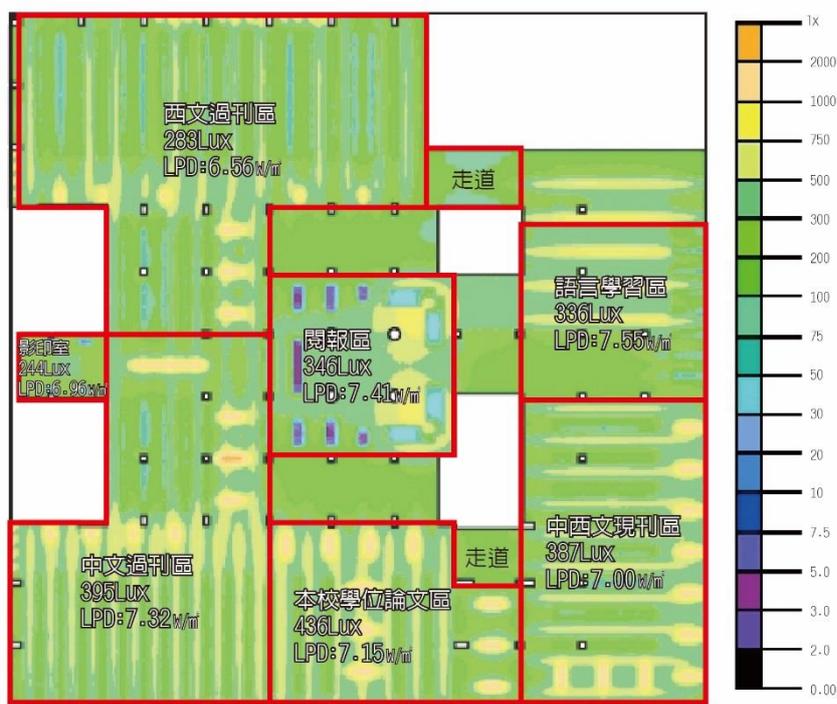


圖 3.17 圖書館地下一樓照明減量設計後之 Dialux 照度模擬圖

表 3.12 圖書館地下一樓照明改善前後之比較

改善前後差異說明	原始設計	燈具減量設計
燈具配置		
燈具總數量	1071 盞	610 盞
燈具型式	T8 日光燈 36W 共 234 盞	T8-LED 燈 18W 共 42 盞
	T8 日光燈 36W 共 486 盞	T5 日光燈 28W 共 320 盞
總消耗功率	52,219 W	13,536 W
LPD	27.24	7.06
平均照度	470LUX	339LUX
節能比率	-----	74.1%

3.4 小結

綜合上述圖書館各樓層照明缺失改善建議後，得知圖書館照明改善前後之 LPD 如表 3.13、圖 3.18。若採用燈具減量設計之方式，圖書館全館之 LPD 平均值由 19.55W/m²降為 7.07W/m²，節能效益達 63.8%，各樓層改善後之 LPD 均符合本計畫目標值 10W/m²。其中又以地下一樓改善效益最佳，其 LPD 由 27.24W/m²降為 7.06W/m²，節能效益達 74.1%；次佳者為二樓，其 LPD 由 24.09W/m²降為 7.43W/m²，節能效益達 69.2%，若經費有限無法進行全館照明改善，則應以地下一樓及二樓為優先改良之對象。

表 3.13 圖書館照明改善前後 LPD 之比較

樓層名稱	不同照明設計之 LPD (單位 W/m ²)			
	原始設計	實際使用	更換高效率燈具	燈具減量設計
一樓	15.25	10.16	10.92	6.47 (-57.6%)
二樓	24.09	17.63	17.71	7.43 (-69.2%)
三樓	14.72	13.36	10.85	7.15 (-51.6%)
四樓	17.60	13.80	13.12	7.28 (-58.6%)
地下一樓	27.24	22.75	20.27	7.06 (-74.1%)
全館	19.55	15.44	14.41	7.07 (-63.8%)

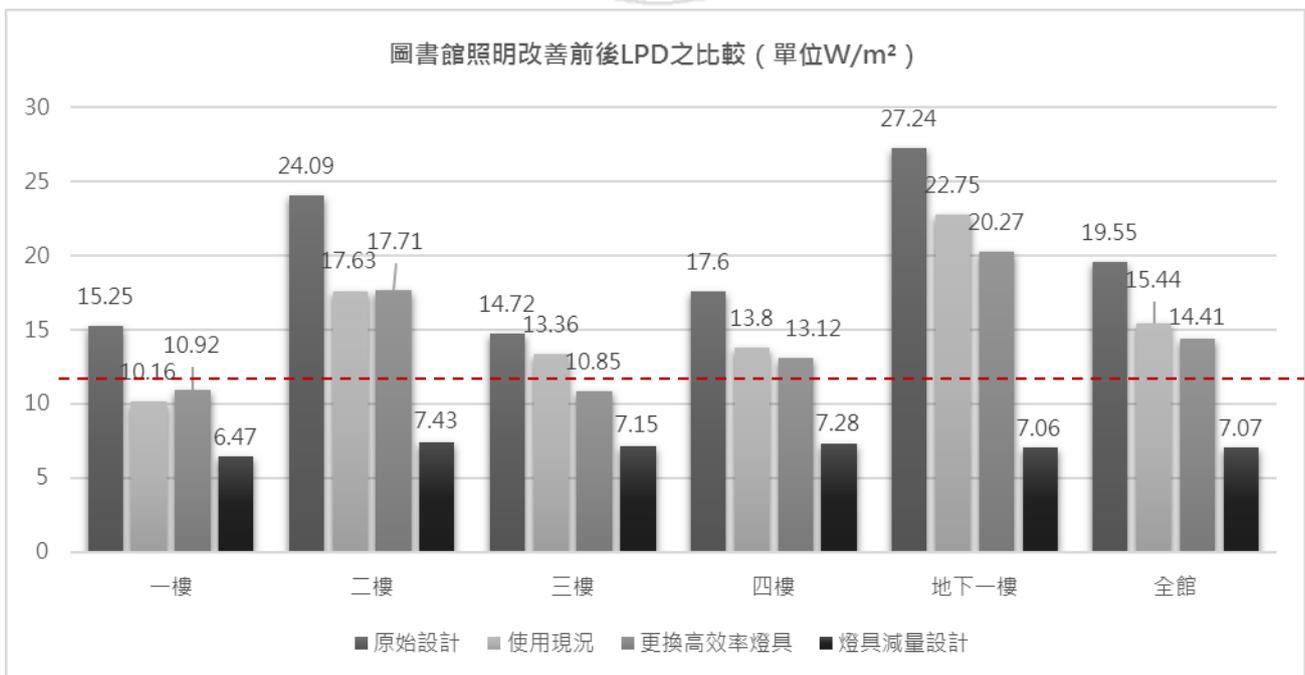
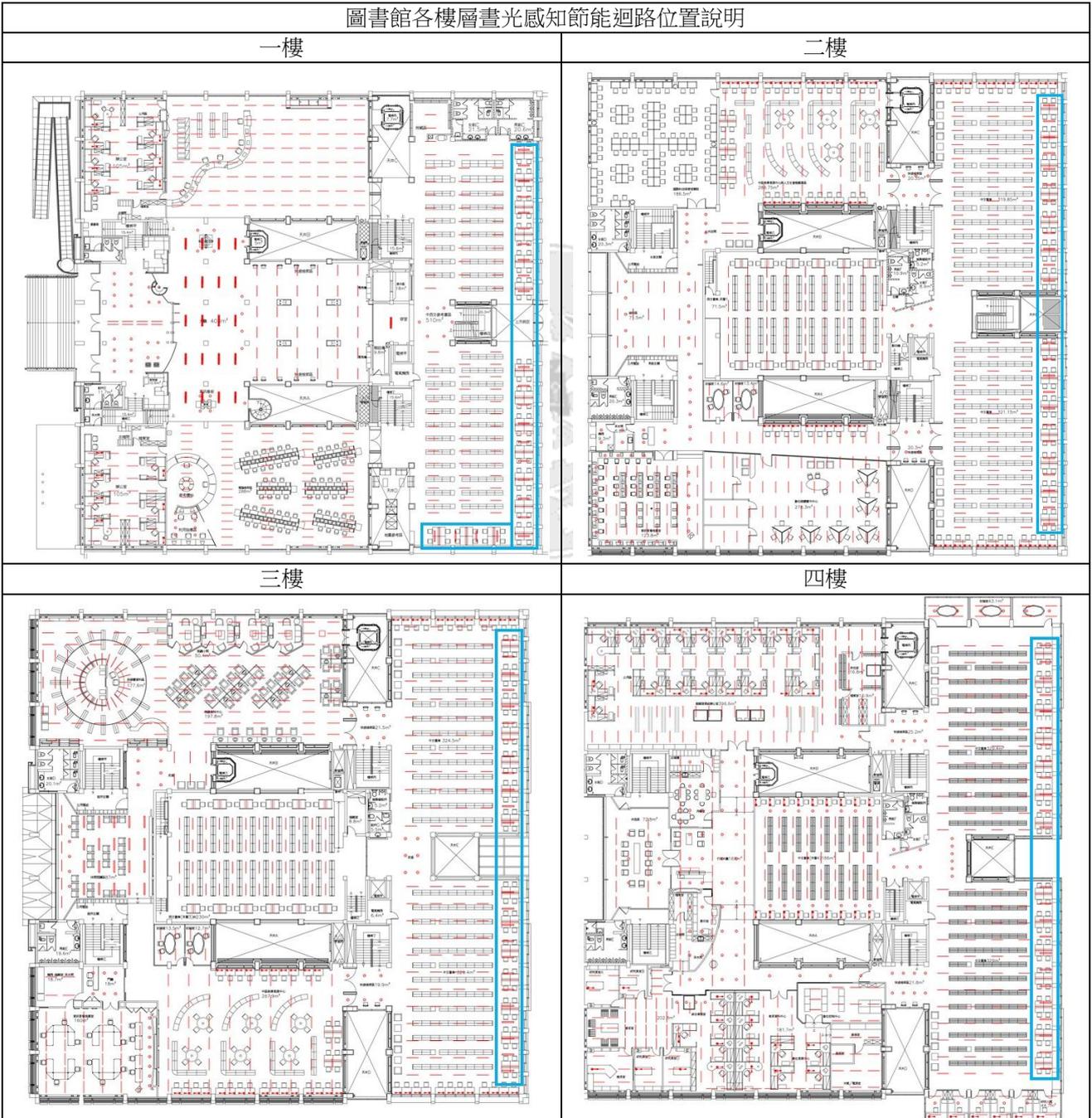


圖 3.18 圖書館照明改善前後 LPD 之比較

除進行燈具減量設計外，本計畫建議於改善照明時將晝光利用一併納入考量，針對窗邊閱讀區座位之照明系統設置晝光感知器，並採用可自動調光節能之燈具，雖無法直接降低各樓層之照明用電密度 LPD，但可減少人工光源之使用，即可降低用電量節省電費。經考量晝光利用之可行性後，本計畫初步設定圖書館各樓層東側閱讀區均採晝光感知節能系統，圖書館各樓層可採用晝光感知器及自動調光燈具之範圍如表 3.14。

表 3.14 晝光感知節能迴路位置圖



此外，為有效利用圖書館既有之二線式照明控制系統，建議應進一步調查圖書館讀者使用現況，藉以擬定智慧化分時分區照明控制計畫，達到智慧化分時分區監控管理，可節約照明用電 30%以上。其可行方式為加裝時序控制器，按照預定的時間依照明環境需求自動進行不同照明模式切換，或燈具的明滅控制，而不須手動操作控制，可避免因忘記關燈而浪費電能。例如：上班、下班、午休時段、招牌、走道、樓梯間、戶外夜間景觀及自動啟閉照明燈具。

其次時序控制器可根據預設之智慧化分時分區照明控制計畫安排自動開啟、熄滅或調整既定區域的照明設施，亦可經由時程設定將照明系統控制轉交給不同的控制裝置，例如分為(1) 預定時程：利用定時開關依照既定時程自動開啟或關閉所有燈具；(2) 非預定時程：可藉使用移動感應器加上定時開關，自動開啟、關閉未使用區域之燈具。採用智慧化分時分區照明控制，依不同時段混合使用上、下班開關控制、晝光調節、自動感應裝置，即可有效管理並節約照明用電。



第四章 圖書館照明改善預期節能效益推估

4.1 不同改善方式其節能效益之推估

圖書館照明原始設計之總消耗功率為 185,155W，其照明用電密度 LPD 高達 19.55W/m²，本計畫以不同方式進行照明改善，其節能效益如圖 4.1、表 4.1。其中又以光通量計算法重新評估照明需求後，更換高效率燈具並減少燈具數量之方式最佳，可有效降低整體消耗功率至 67,021W，LPD 則降為 7.07W/m²，低於本計劃目標值 10W/m²，並節能達 63.8%。

表 4.1 圖書館照明缺失改善方式節能效益之比較

節能效益說明	照明改善方式			
	原始設計	使用現況	更換高效率燈具	燈具減量設計
總消耗功率 (W)	185,155	146,240	136,459	67,021
照明用電密度 LPD (W/m ²)	19.55	15.44	14.41	7.07
節能比率 (%)	0%	21.02%	26.3%	63.8%

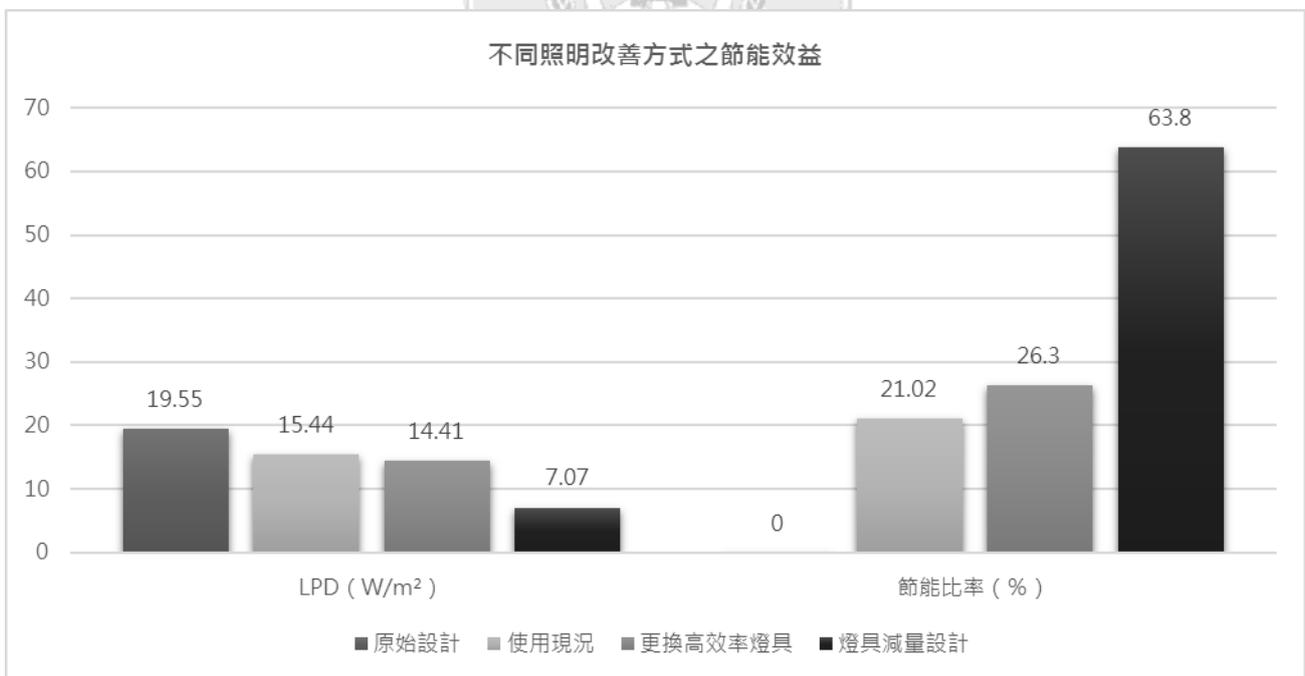


圖 4.1 圖書館照明缺失改善方式節能效益之比較

4.2 用電度數與節約金額之推估

逢甲大學圖書館開放時間為週一至週五 08:30~22:00，週六、週日 10:00~17:00，因此每

週共開館 81.5 小時，全年開館約 336 天（48 週），換算每年開館時數為 3,912 小時。而目前圖書館照明使用模式為開館時全時開啟，故合理推估其照明使用時數等於開館時數。

逢甲大學電費因採浮動電價，取其年度電費平均值 3.5 元/度，代入圖書館照明改善後之消耗功率，並與改善前消耗功率比較，以式 2、式 3 進行年用電度數及每年照明用電電費之推估，即可得知其節電效益與節約金額如表 4.2、圖 4.2，可知若進行圖書館全館更換高效率燈具並減少燈具數量，其年用電度數可節省 63.8%，每年節約照明用電之電費約新台幣 161.7 萬元。

$$\text{每年用電度數} = \text{總消耗功率 (W)} * \text{開館時數 (hr)} / 1000 \quad \text{-----} \quad (\text{式 2})$$

$$\text{每年照明用電電費} = \text{每年用電度數} * \text{電費平均值 (3.5 元/度)} \quad \text{-----} \quad (\text{式 3})$$

表 4.2 圖書館照明改善效益

	原始設計	燈具減量設計	節省效益
總消耗功率 (W)	185,155	67,021	63.8%
每年用電度數 (度)	724,326	262,186	
照明用電電費 (元)	2,535,142	917,652	1,617,490 元

若進一步考量智慧化照明控制，將地下一樓以外之各樓層東側閱讀區均採用晝光感知器，並採用可自動調光節能之燈具，總計各樓層天花板均佈照明共 96 盞功率 28W 之 T5 日光燈，及桌面輔助照明共 232 盞功率 14W 之 T5 日光燈可納入智慧化調光控制系統，其總消耗功率為 5,936W。假設於開館期間於上午 9 時至下午 4 時均有足夠日光提供閱讀需求之照度，代入全年開館約 48 週，則其每年可節省之使用時數為 2256 小時，可額外節電 13,392 度，相當於節省電費 46,871 元，其節約效益詳如表 4.3。

表 4.3 圖書館各樓層閱讀區採用智慧化自動調光控制系統之節能效益

樓層	智慧化自動調光控制之燈具數量		總消耗功率 (W)	使用時數 (hr)	節約用電度數	節約電費 (元)
	天花板均佈照明	桌面輔助照明				
一樓	24	64	1,568	2,256	3,537	12,380
二樓	24	56	1,456		3,285	11,497
三樓	24	56	1,456		3,285	11,497
四樓	24	56	1,456		3,285	11,497
全館	96	232	5,936		13,392	46,871

4.3 回收年限之推估

為推估節約效益與回收年限之比，本計畫以減量後之燈具數量，向本校長期合作之燈具廠商詢價，得知材料單價與施工費用如表 4.4，則圖書館全館照明改善之總工程費用為 362.9 萬元，除以推估每年可節省電費 166.4 萬元，即得回收年限為 2.18 年。若不採用智慧化調光控制系統，則總工程費用可降為 259.6 萬元，年節約電費 161.7 萬元，回收年限為 1.61 年。

表 4.4 圖書館照明改善工程材料單價與施工費用

燈具型式	數量 (盞)	單價 (元)	施工費 (元)	總價 (元)
T5 輕鋼架型 4 呎日光燈	1,160	1,100	350	1,682,000
T5 支架燈 2 呎日光燈 (桌面輔助照明)	450	400	350	337,500
T5 電子調光型燈 4 呎 (閱讀區天花板)	96	3,150	350	336,000
調光控制模組	12	4,500	350	58,200
晝光感應器	12	4,000	0	48,000
T8 型 4 呎 LED 燈管	1,065	340	250	628,350
LED 嵌燈(筒燈)	581	520	150	389,270
電路修改施工費		一式		150,000
總工程費用				3,629,320

4.4 圖書館照明改善預期省電效益之比較

本計畫以不同方式進行圖書館照明改善，除了更換高效率燈具，並進行燈具減量設計外，若能將智慧化照明控制系統一併納入照明改善工程施作，則可較原始設計節能達 65.4%，不同改善方式與圖書館現況照明用電量與節約效益之比較如表 4.5、圖 4.2。

表 4.5 圖書館照明改善預期省電效益之比較

照明設置方式	圖書館現況		建議改善方式		
	原始設計	使用現況	更換高效率燈具	燈具減量設計	智慧化照明
設置條件	依原始燈具配置	減少開啟燈具	不減少燈具，僅更換為高效率燈具	更換高效率燈具並減少設置數量	各樓層東側閱讀區全面採用晝光感知器及自動調光燈具
總消耗功率 (W)	185,155	146,240	136,459	67,021	67,021
照明用電密度 LPD (W/m ²)	19.55	15.44	14.41	7.07	7.07
年用電量 (度)	724,326	572,090	533,827	262,186	248,794
節能比率 (%)	0%	21.0%	26.3%	63.8%	65.7%

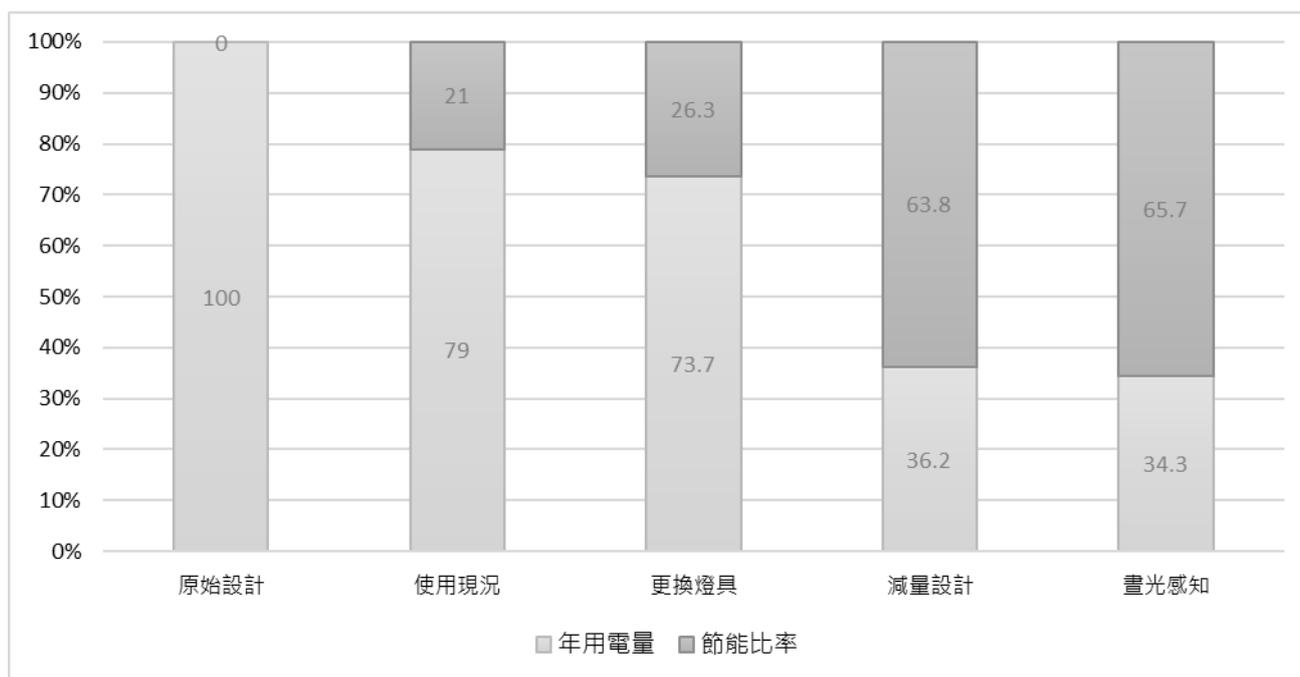


圖 4.2 圖書館照明改善用電量與預期省電效益之比較



第五章 結論與建議

本計畫調查逢甲大學圖書館照明現況，得知現況照明用電密度 LPD 為 $19.55\text{W}/\text{m}^2$ ，較本計畫目標值 $10\text{W}/\text{m}^2$ 高出 1.95 倍。館方為節省用電，將部分燈具關閉不用，但圖書館各樓層現況照度平均約 300~500Lux，仍符合本計畫設定之標準，閱讀區設置桌面輔助照明後亦可提供 500LUX 以上之照度，顯示原始照明燈具數量過多。

根據本計畫調查結果，並以光通量法考量各空間照度需求後，進行燈具減量設計，再以照明模擬軟體 DIALux 驗證，繪製各樓層模型及燈具數量，模擬其照度是否滿足使用需求，得出圖書館照明改善建議如下：

一、全面更換高效率燈具，並參考照度需求適度減少燈具數量後，節能效益可達 63.8%。

圖書館現況照明用電密度 LPD 為 $19.55\text{W}/\text{m}^2$ ，經本計畫以光通量法進行燈具減量設計後 LPD 可降為 $7.07\text{W}/\text{m}^2$ ，低於本計畫目標值 $10\text{W}/\text{m}^2$ ，並節能達 63.8%。

若受限於經費考量，建議以地下一樓及二樓為優先改善對象，因地下一樓之 LPD 高達 $27.24\text{W}/\text{m}^2$ ，二樓 LPD 亦高達 $24.09\text{W}/\text{m}^2$ ，該兩樓層為全館用電密度最高者，較本計畫目標值 $10\text{W}/\text{m}^2$ 超出 2.4~2.7 倍，故應優先改善。

二、進行全館照明改善後，其回收年限為 2.18 年。

為推估節約效益與回收年限之比，本計畫以減量後之燈具數量，向本校長期合作之燈具廠商詢價，得知圖書館全館照明改善之總工程費用為 362.9 萬元，推估每年可節省電費 166.4 萬元，則回收年限為 2.18 年。

三、窗邊閱讀區之照明系統應設置智慧化調光控制系統，每年可節約用電量約 13,392 度。

圖書館東側具備良好晝光環境，窗邊亦多設置閱讀區，建議可設置晝光感知器調光迴路，並採用可自動調光節能之燈具，則其每年可節省人工照明使用時數約為 2256 小時，可額外節電 13,392 度，相當於節省電費 46,871 元

四、擬定智慧化分時分區照明控制計畫，達到智慧化分時分區監控管理照明用電。

為有效利用圖書館既有之二線式照明控制系統，建議應進一步調查圖書館讀者使用現況，藉以擬定智慧化分時分區照明控制計畫，達到智慧化分時分區監控管理，依不同時段按使用上、下班時段控制，並搭配晝光調節、自動感應裝置等即可有效管理並節約照明用電。

參考文獻

1. 內政部建築研究所，「綠建築評估手冊」，2012 年。
2. 經濟部能源局，「圖書館節能技術手冊」，2012 年。
3. 教育部，「學校照明節能改善參考手冊」，2012 年。
4. 教育部，「學校教室汰換高效率燈具參考手冊」，2004 年。
5. 張謙允、黎倩如、鄭哲瑋，太陽集光器結合人工光源之室內照明應用，2011 年。

